



Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 24/2021

Metsäbiotalous Suomessa – tutkimusta ja kehityspolkuja 2016–2020

Pohjoinen vihreä biotalous -ohjelman loppuraportti

Mikko Kurttila, Timo Muhonen ja Leena Karvinen (toim.)

Metsäbiotalous Suomessa – tutkimusta ja kehityspolkuja 2016–2020

Pohjoinen vihreä biotalous -ohjelman loppuraportti

Mikko Kurttila, Timo Muhonen ja Leena Karvinen (toim.)

Viittausohje:

Kurttila, M., Muhonen, T. & Karvinen L. (toim.). 2021. Metsäbiotalous Suomessa – tutkimusta ja kehityspolkuja 2016–2020 : Pohjoinen vihreä biotalous -ohjelman loppuraportti. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 24/2021. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 55 s.

Viittausohje yksittäiseen artikkeliin:

Kärkkäinen, K., Ahtikoski, A., Aronen, T., Haapanen, M., Nieminen, K. & Rusanen, M. 2021. Metsägenetiikan työkaluilla enemmän kasvua ja kestävyttä geneettinen monimuotoisuus huomioiden. Julkaisussa: Kurttila, M., Muhonen, T. & Karvinen L. (toim.). 2021. Metsäbiotalous Suomessa – tutkimusta ja kehityspolkuja 2016–2020 : Pohjoinen vihreä biotalous -ohjelman loppuraportti. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 24/2021. Luonnonvarakeskus. Helsinki. s. 13–20.

Mikko Kurttila, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5290-4771>



ISBN 978-952-380-184-4 (Painettu)

ISBN 978-952-380-185-1 (Verkkojulkaisu)

ISSN 2342-7647 (Painettu)

ISSN 2342-7639 (Verkkojulkaisu)

URN <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-185-1>

Copyright: Luonnonvarakeskus (Luke)

Kirjoittajat: Mikko Kurttila, Timo Muhonen ja Leena Karvinen (toim.)

Julkaisija ja kustantaja: Luonnonvarakeskus (Luke), Helsinki 2021

Julkaisuvuosi: 2021

Kannen kuva: Jouni Hyvärinen

Painopaikka ja julkaisumyynti: PunaMusta Oy, <http://luke.juvenesprint.fi>

Tiivistelmä

Mikko Kurttila, Timo Muhonen ja Leena Karvinen (toim.)

Luonnonvarakeskus, Yliopistokatu 6 B, 80100 Joensuu. etunimi.sukunimi@luke.fi

Raportissa kuvataan Luonnonvarakeskuksessa vuosina 2016–2020 toteutetun tutkimusohjelman päätuloksia. Raportti on suunnattu laajalle lukijakunnalle, jota yhdistää kiinnostus metsiä, niiden kehitystä, käyttöä sekä metsäbiotalouteen liittyvää tutkimusta kohtaan.

Pohjoinen vihreä biotalous -ohjelman tutkimus- ja kehitystyö seurasi metsäbiotalouden arvoketjua metsän perustamisen alkuvaiheesta aina sieltä saataviin tuotteisiin ja palveluihin saakka. Genomiikan ja jalostuksen alueella tuotettiin tietoa siitä, miten jalostuksen avulla puiden kasvua ja kestävyttä muuttuvissa olosuhteissa voidaan parantaa, monimuotoisuusnäkökulmat huomioiden. Jalostuksen avulla voidaan saavuttaa jopa 20 prosentin lisäys puuntuotannossa. Ilmastonmuutos ja puun eri käyttömuodot haastavat jatkossa tutkimaan tarkemmin mahdollisuuksia parantaa puiden resilienssiä (mm. taudinkestävyyttä) ja puuaineksen laatua. Metsänhoitoon liittyviä tutkimusaiheita olivat mm. metsien uudistamisen kysymykset, maanmuokkauksen hyödyt ja haitat, sekametsien perustaminen ja kasvatus sekä pohjoisen Suomen metsien hoidon erityiskysymykset. Jatkuvapeitteisen kasvatuksen menetelmiä ja vaikutuksia tutkittiin useissa hankkeissa. Näköpiirissä on, että metsien käsittelytapojen monipuolistuminen jatkuu.

Metsävarojen inventointiin, metsien käytön suunnitteluun ja metsäoperaatioihin liittyen ohjelmassa kehitettiin työkaluja monipuolisen, luotettavan ja ajantasaisen tiedon keräämiseksi metsävaroista ja biomassojen laadusta, sijainnista ja saavutettavuudesta. Keinoja biomassan korjuun ympäristövaikutusten vähentämiseksi mm. digitalisaation avulla, sekä uusia resurssitehokkaampia ratkaisuja biomassan toimitusketjuihin ja logistiikkaan kehitettiin yhteistyössä alan toimijoiden kanssa. Lisäksi aihepiirin työssä korostui metsän eri käyttömuotojen yhteensovittaminen uusien ekosysteemipalveluita kuvaavien mallien avulla sekä mallien käyttö suunnittelulaskelmissa ja niiden tuloksia visualisoivissa työkaluissa.

Ohjelmassa etsittiin myös uusia tapoja hyödyntää biomassaa kokonaisvaltaisesti ja kaskadiperaatteen mukaisesti. Puuperäisten raaka-aineiden lisäksi kohteena olivat myös luonnontuotteet ja niiden kaupallisen hyödyntämisen lisääminen. Puumateriaalitutkimusten tavoitteena on parantaa puutuotteiden pitkäaikaiskestävyyttä, tehostaa raaka-aineen käyttöä ja luoda lisäarvoa arvoketjulle. Lisäksi tarkasteltiin miten erilaisia puunjalostuksen, maatalouden ja elintarviketuotannon sivuvirtoja voidaan hyödyntää fossiilisten raaka-aineiden korvaajina ja uusien tuotteiden valmistamisessa. Ohjelman päättyessä aihepiirin tutkimustyö jatkuu. Tutkimuksen tavoitteena on jatkossakin tukea metsien monipuolista ja kestävää käyttöä tulevaisuuden muuttuvissa olosuhteissa.

Asiasanat: metsägenetiikka ja -jalostus, metsien käyttö, metsien tuotteet ja palvelut, metsänhoito, metsävarat, tutkimusohjelma

Executive summary

Mikko Kurttila, Timo Muhonen ja Leena Karvinen (eds.)

Natural Resources Institute Finland, Yliopistokatu 6 B, 80100 Joensuu.

firstname.lastname@luke.fi

The report describes the key results of the research programme carried out at the Natural Resources Institute Finland (Luke) in 2016–2020. The report is intended for a large group of readers who share an interest in forests, their development and use, as well as research related to the forest bioeconomy.

Research and development activities in the “Boreal Green Bioeconomy” programme monitored the forest bioeconomy value chain, ranging from the establishment of a forest all the way to the products and services obtained from it. In the field of genomics and breeding, information was produced on how tree breeding helps to improve tree growth and resistance to changing conditions, considering the biodiversity perspective. Tree breeding can achieve an increase of up to 20% in wood production. Climate change and different uses of wood will challenge us in the future to study opportunities to improve tree resilience (e.g., resistance to diseases) and the quality of wood in more detail. Research themes related to silviculture included forest regeneration issues, the advantages and disadvantages of soil preparation, the establishment and growth of mixed forests, and a variety of different forest management issues in Northern Finland. The methods and impact of continuous cover forestry were studied during several projects. It is expected that forest management will continue to become more diversified.

With regard to forest inventories, the planning of forest use and forest operations, the programme developed tools to collect diverse, reliable and up-to-date information on forest resources and the quality, location and availability of biomass. Ways to reduce the environmental impact of biomass collection by means of digitalisation, for example, and new more resource-efficient solutions for biomass supply chains and logistics were developed in cooperation with actors in the sector. In addition, the theme emphasised coordination between different uses of forests using new models that represent ecosystem services, as well as the use of models in planning calculations and in tools that visualise their results.

The programme also sought novel ways to use biomass comprehensively and in accordance with the cascading use principle. In addition to wood-based raw materials, the programme focused on non-timber forest products and increasing their commercial use. The goal of wood research is to improve the longevity of wood products, make the use of raw materials more effective, and produce added value in the value chain. The programme also studied how different side streams of wood processing, agriculture and food production can be used to replace fossil raw materials and manufacture new products. Even though the programme ends, research in this area will continue. Research still aims to support the diverse and sustainable use of forests in changing conditions in the future.

Keywords: forest genetics, tree breeding, forest use, forest products and services, silviculture, forest resources, research programme

Esipuhe

Luke käynnisti vuonna 2016 neljä laajaa tutkimusohjelmaa, jotka olivat Pohjoinen vihreä biotalous, Innovatiivinen elintarvikeketju, Sininen biotalous ja Kestävä luonnonvaratalous yhteiskunnassa. Pohjoinen vihreä biotalous keskittyi metsien jalostuksen, kasvun, hoidon, metsäoperaatioiden ja metsiimme perustuvien tuotteiden monitieteiseen tutkimukseen ja innovointiin. Ohjelmassa tutkittiin myös metsiin kohdistuvia riskejä ja biotalouden vaikutuksia metsäluontoon ja vesistöihin.

Ohjelman toteutukseen on osallistunut useita satoja Luken asiantuntijoita. Ohjelman aikana tuloksia on viestitty monipuolisesti ja aktiivisesti eri kanavien kautta laajalle joukolle kotimaisia ja kansainvälisiä sidosryhmiä. Tähän loppuraporttiin on koottu yhteenvedonomaaisesti ohjelman osa-alueiden tuloksia ja niiden pohjalle rakentuvaa synteesiä sekä katsottu myös vihreän biotalouden tulevaisuuteen.

Haluamme esittää parhaimmat kiitokset ohjelman toteutukseen osallistuneille Lukelaisille, ohjelman neuvottelukunnalle ja yhteistyökumppaneillemme.

Ohjelmajohtajat

Antti Asikainen

Tuula Packalén

Mikko Kurttila

1. Ohjelmajohtaja

2. Ohjelmajohtaja

3. Ohjelmajohtaja

Sisältö

1. Metsäbiotalous Suomessa.....	7
1.1. Raportin tausta.....	7
1.2. Metsäbiotalouden kehitys 2010–2019.....	7
2. Metsägenetiikan työkaluilla enemmän kasvua ja kestävyyttä geneettinen monimuotoisuus huomioiden	13
2.1. Metsänjalostuksen nykyisiä ja tulevia hyötyjä kannattaa analysoida.....	13
2.2. Geeni- ja genomitiedon hyödyntäminen jalostuksessa.....	13
2.3. Jalostustulosten tehokkaampi vienti käytäntöön: kasvullinen lisäys ja optimaaliset metsänviljelymateriaalin käyttöalueet.....	15
3. Kohti kokonaiskestävää metsänhoitoa ja -käyttöä.....	21
3.1. Sekapuustolla elinvoimaisuutta metsiin	21
3.2. Taimesta tukkipuiksi.....	22
3.3. Kohti juurikäävänkestäviä metsiä.....	24
3.3.1. Juurikääväntorjunta kannattaa turvemaiden männiköissä	24
3.4. Uudet arviot metsätalouden vesistökuormituksesta	26
4. Tiedolla, taidolla ja tekniikoilla parempaa huomista rakentamassa	29
4.1. Uusi tekniikka apuna tarkemman metsävaratiedon tuottamisessa.....	29
4.2. Hakkuumahdollisuuskalkulat.....	30
4.3. Digitaalisilla kartoilla lisätään tehokkuutta ja ympäristöystävällisyyttä puunkorjauksessa....	33
4.4. Tietoa biomassojen hankintamahdollisuuksista strategisen päätöksenteon tueksi.....	36
4.5. Metsäenergia.....	36
5. Metsän tuotteet ja biojalostamo – kohti biokiertoa.....	42
5.1. Metsäinfon uusi palvelu kertoo puun ominaisuudet.....	43
5.2. Kuoribiojalostamo – luonnonyhdisteiden aarreaita.....	44
5.3. Kerkki ja pakuri – luonnontuoteala monipuolistajana.....	45
5.4. HerääPahvi! – Nyt loppui ininä.....	47
5.5. Kestävä puurakentaminen ja puutuotealan kehittäminen	48
6. Johtopäätökset – Metsäbiotalouden tulevaisuus.....	53
6.1. Jatkotutkimussuuntia	53
6.2. Metsäbiotalouden kehityssuuntia.....	54

1. Metsäbiotalous Suomessa

Mikko Kurttila ja Timo Muhonen

1.1. Raportin tausta

Suomessa on eletty vahvaa biotalousilmiötä 2010-luvulta alkaen. Sitä on määritelty, sille on asetettu tavoitteita strategioissa ja ohjelmissa, sitä on edistetty monin erilaisin toimenpitein ja sen kehitystä on seurattu uudenlaisten tilastojen avulla. Suomessa biotalousilmiön vahvuuteen on vaikuttanut uusiutuvien luonnonvarojen ja erityisesti metsän tärkeys kansantaloudelle. Osaltaan biotalouteen panostamista vauhditti myös sen nostaminen tärkeään asemaan edellisen hallituksen (2015–2019) hallitusohjelmassa.

Metsäbiotaloutta on tutkittu runsaasti alueellisella, valtakunnallisella ja eurooppalaisella tasolla. Suurin suomalainen koordinoitu tutkimuksellinen toimenpide metsäbiotalouden tutkimukseen on Luonnonvarakeskuksen (Luke) vuonna 2016 käynnistämä "Pohjoinen vihreä biotalous" teemaattinen tutkimusohjelma (Tietolaatikko 1), jossa on panostettu aihepiiriin tutkimukseen yli 130 miljoonaa euroa ohjelman viisivuotisella toimikaudella.

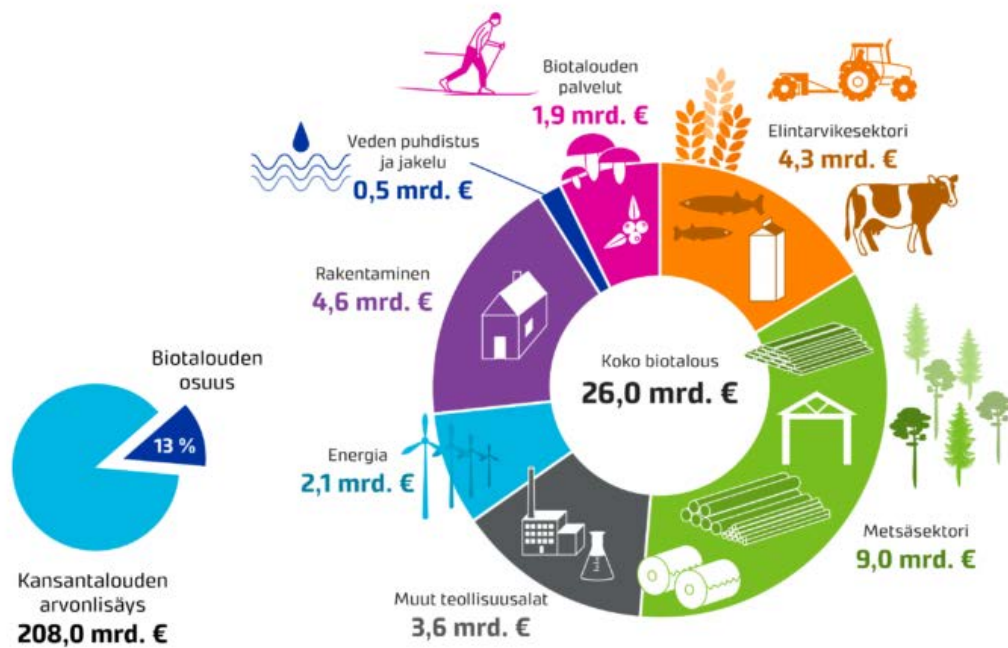
Tämän raportin tavoitteena on esitellä Luken tutkimusohjelman tuloksia ja hyötyjä suomalaisen metsäbiotalouden kehittämisen näkökulmasta. Raportin rakenne noudattelee ohjelmarakennetta ja samalla metsätalouden arvoketjua. Siinä lähdetään liikkeelle puiden ja muiden metsän kasvien ominaisuuksista ja niiden jalostamisesta paremmin eri tarpeita palveleviksi, minkä jälkeen edetään metsien hoidon kehittämiseen. Tämän jälkeen tarkastellaan metsävarojen inventointia, suunnittelua ja operaatioita, joiden avulla puu ja muut metsän tuotteet saadaan suunnitellusti metsästä prosessoitavaksi tuotantolaitoksiin. Lopuksi tarkastellaan metsän tuotteisiin liittyvää tutkimustyötä. Raportin lopussa luodaan katse tulevaisuuteen. Raportin johdantoluku tarkastelee ensin tilastojen valossa, miten metsäbiotalous on kehittynyt Suomessa 2010 -luvulla.

1.2. Metsäbiotalouden kehitys 2010–2019

Biotalous on monipuolinen kokonaisuus, ja se koostuu useista uusiutuvia luonnonvaroja eri tavoilla hyödyntävistä toimialoista (Kuva 1). Vaikka biotalouden osuus kansantalouden arvonlisäyksestä on vain 13 %, on sen osuus Suomen viennistä 31 %. Biotalousin tärkein toimiala on metsäsektori – vuonna 2019 sen osuus biotalouden arvonlisäyksestä oli 35 %. Suomelle vuonna 2014 laaditun biotalousstrategian tavoitteena on nostaa biotalouden tuotos sataan miljardiin euroon ja luoda 100 000 uutta biotaloustyöpaikkaa vuoteen 2025 mennessä.

Metsäbiotalouden tuotos on kasvanut viime vuosina (Kuva 2), osin sellun korkean hinnan seurauksena. Kasvua ovat tukeneet investoinnit, joista merkittävien on Äänekosken biojalostamo. Alan kasvu edellyttää raaka-aineintensiivisellä sektorilla myös lisääntyvää tuotantopanosten käyttöä, joskin kasvua voi ja halutaan luoda myös korkeamman jalostusasteen tuotteiden tuotannon kasvattamisen kautta. Edellisten 10 vuoden aikana puun käyttö onkin ollut kasvu-uralla ja vuotuiset hakkuukertymät ovat nousseet noin 10 miljoonalla kuutiometrillä. Työllisten määrän lasku on myös tasaantunut tarkastelujakson puolivälissä.

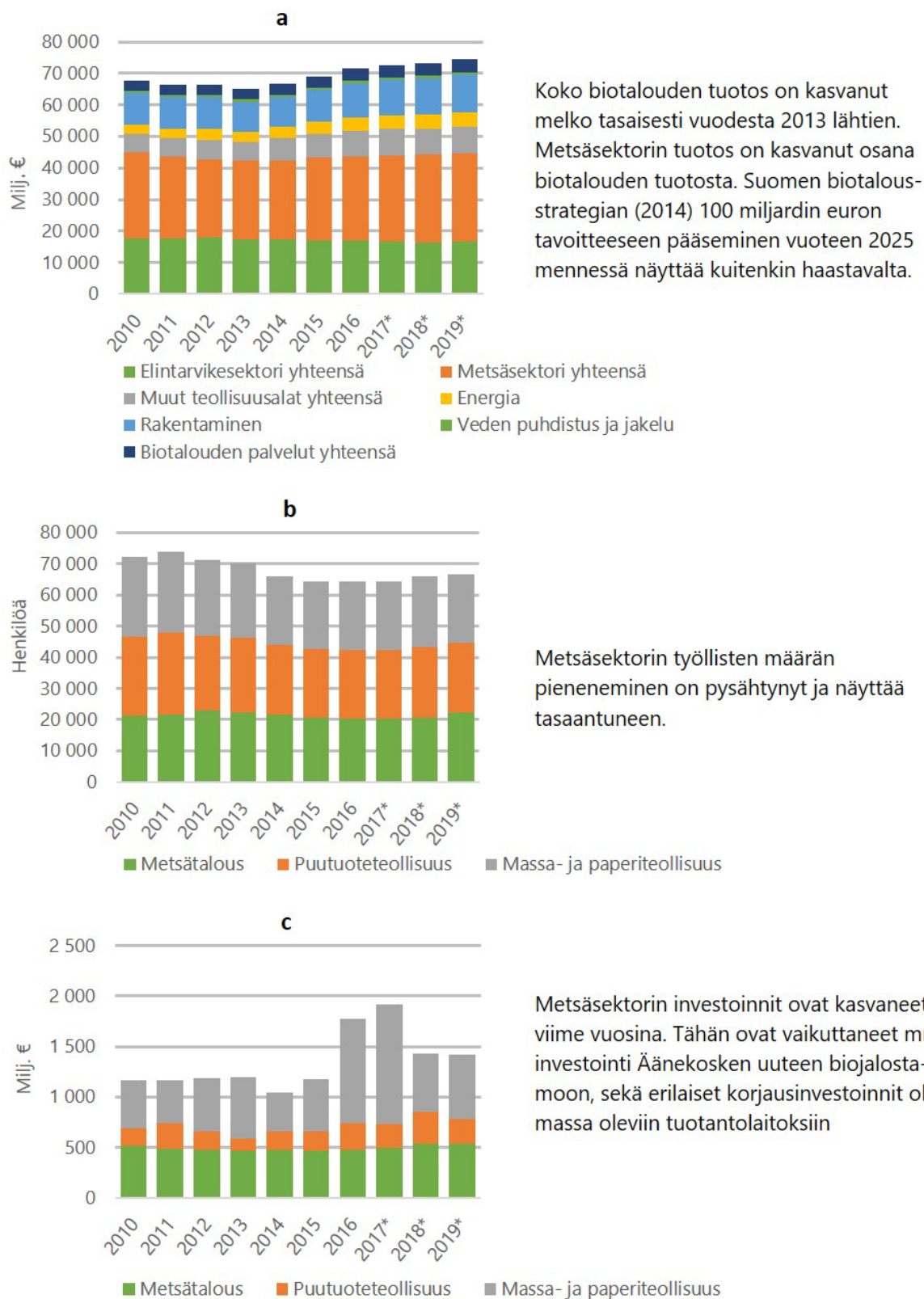
Biotalouden arvonlisäys toimialoittain 2019*



* Ennakkotieto Lähde: Tilastokeskus ja Luonnonvarakeskus

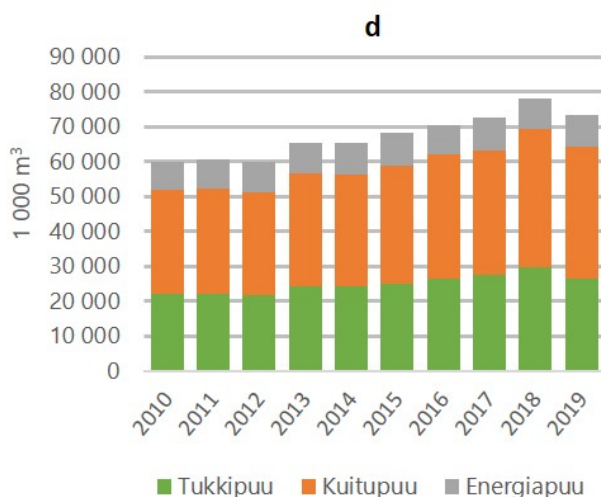


Kuva 1. Suomen biotalouden arvonlisäys toimialoittain vuonna 2019.

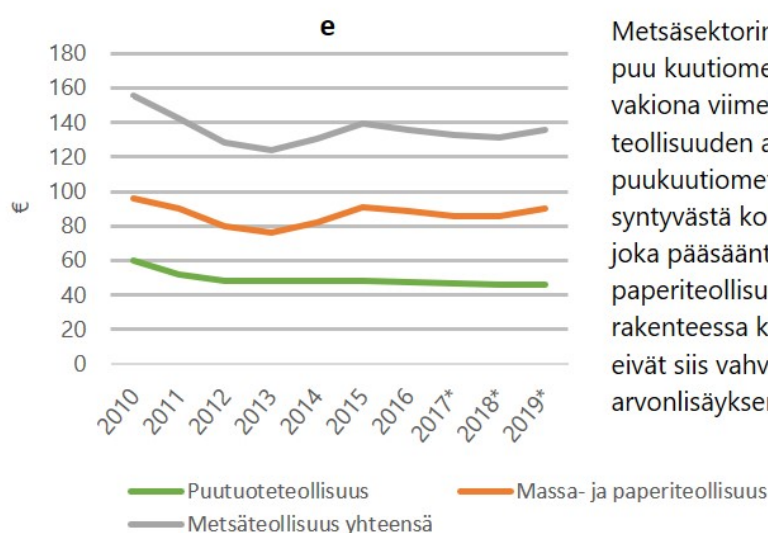


Kuva 2. Biotalouslaskettavien toimialojen osien tuotoksen kehitys Suomessa 2010–2019 (1a), metsäsektorin työllisten määrä (1b), investoinnit (1c), hakkuumäärät (1d), arvonlisäys saha- ja massa- ja paperiteollisuuden käyttämän raakapuukuutiometrien suhteen sekä luontopalveluiden (luontomatkailu, virkistys sekä metsästys ja kalastus) arvonlisäyksen (1f) kehitys 2010–2019. Euromääräiset luvut on defloitu tukkuhintaindeksillä. (<https://jukuri.luke.fi/handle/10024/545183>)

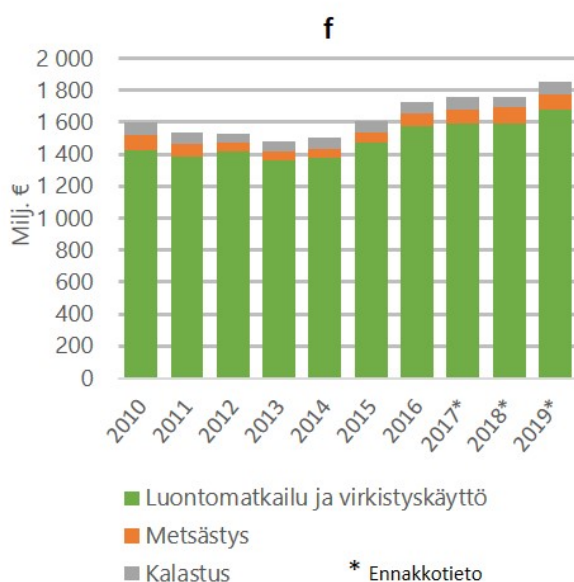
Kuva 2 jatkuu



Hakkuumäärät ovat olleet kasvu-uralla ja vuosi 2018 oli hakkuissa ennätysvuosi. Vuoden 2018 jälkeen hakkuumäärät ovat laskeneet jonkin verran, mutta ne ovat edelleen selvästi 10-vuotiskauden keskiarvon yläpuolella. Hakkuumäärien ja investointien kasvu yhdistettynä työllisyyskehitykseen ovat viitteitä sekä tuottavuuden kasvusta että tuotantorakenteen muutoksesta toimialalla.



Metsäsektorin arvonlisäys käytettyä raakapuu kuutiometriä kohti on säilynyt lähes vakiona viimeiset viisi vuotta. Puutuoteteollisuuden alhainen arvonlisäys käytettyä puukuutiometriä kohti selittyy sahauksessa syntyvästä korkeasta sivuvirtaosuudesta, joka pääsääntöisesti siirtyy massa- ja paperiteollisuuden käyttöön. Tuotantorakenteessa koko kansantalouden tasolla eivät siis vahvasti näy tavoitellut korkean arvonlisäyksen tuotteet.



Luontomatkailun ja virkistyskäytön arvonlisäyksen kasvu on ollut tasaista vuodesta 2014 alkaen – kasvu on ollut noin 20%. Nämä toimialat eivät ole kuitenkaan kansantalouden tilinpidossa omia toimialojaan, vaan toiminnot jakautuvat kuudelle eri toimialalle. Positiivinen kehitys heijastelee siksi osittain esimerkiksi yleistä kasvua matkailutoimialalla.

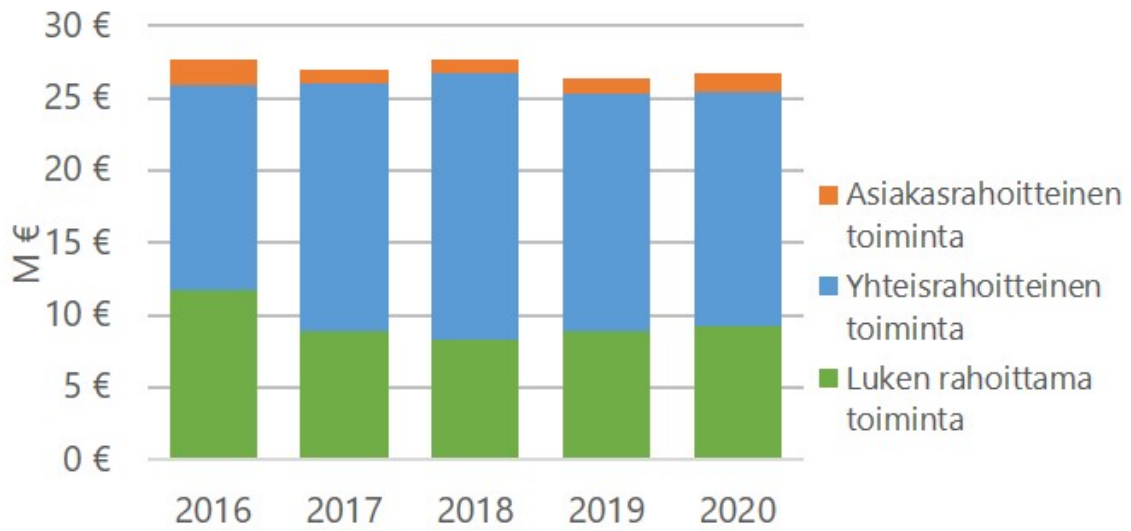
Tietolaatikko 1: Pohjoinen vihreä biotalous – metsätiedon arvoketju

Pohjoinen vihreä biotalous -ohjelman tutkimus seuraa metsäbiotalouden arvoketjua metsästä aina sieltä saataviin tuotteisiin ja palveluihin. Tutkimuksen painopistealueet ovat genomiikka ja jalostus, kestävä biomassan tuotanto, metsävarat ja operaatiot sekä metsän tuotteet ja biojalostus. Arvoketjun alkupäässä on kasvava ja kestävä biomassan tuotanto, jossa keskeisiä tutkimuskohteita ovat metsänhoito, riskien hallinta, ympäristövaikutukset sekä metsien kehityksen mallinnus. Hyvälaatuisen ja nopeampikasvuisen puuntuotannon sekä ilmastomuutokseen ja sen aiheuttamien tuhojen ehkäisemiseen voidaan vastata metsänjalostuksella, joka onkin nostettu ohjelmassa tärkeään osaan. Jotta puu- ja muu metsästä saatava biomassa saadaan kustannustehokkaasti ja ympäristönäkökohtat huomioiden markkinoille ja jalostukseen, tarvitaan luotettavaa tietoa biomassavaroista, käyttäjälähtöistä suunnittelua sekä toimivia toimitusketjuja. Metsästä saatavien tuotteiden ja palvelujen arvo määräytyy pitkälti jalostusketjussa, jossa keskeisinä tekijöinä ovat raaka-ainetuntemus, kustannus- ja materiaalitehokkaat jalostusprosessit ottaen huomioon myös sivuvirtojen ja kaskadikäytön mahdollisuudet.

Genomiikka ja jalostus <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Geneettisen monimuotoisuuden evaluointi, hyödyntäminen ja geenivarojen suojelu <input type="checkbox"/> Ominaisuuksien genetiikka: uudet mittausten menetelmät, puuaineksen laatu ja taudinkestävyys <input type="checkbox"/> Puiden genomiikka ja genomiset jalostusmenetelmät <input type="checkbox"/> Tehokas jalostustulosten käytäntöön vienti: käyttöalueiden mallinnus ilmastomuutos huomioonottaen ja ekonomiset analyysit <input type="checkbox"/> Modernit jalostusteknologiat 	
Kestävä biomassan tuotanto <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Biomassan tuotannon lisääminen <input type="checkbox"/> Metsänhoidon konseptit <input type="checkbox"/> Abioottisten ja bioottisten riskien hallinta <input type="checkbox"/> Metsätalouden ympäristövaikutukset <input type="checkbox"/> Metsien kehityksen mallinnus ja simulointi 	Metsävarat ja -operaatiot <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Uudet metsien inventointitekniikat <input type="checkbox"/> Alueellinen skenaariomallinnus <input type="checkbox"/> Metsien monikäytön ja maankäytön suunnittelu <input type="checkbox"/> Metsäoperaatioiden tehokkuus ja hyväksyttävyys
Metsän tuotteet ja biojalostus <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Biojalostuksen monipuolisen käytön tehostaminen raaka-ainetuntemuksen avulla <input type="checkbox"/> Biomassan arvonlisäys kaskadikäytön ja tehokkaiden prosessien avulla <input type="checkbox"/> Ratkaisuja puupohjaisten materiaalien ja tuotteiden arvonlisäykseen <input type="checkbox"/> Luonnontuotteiden hyödyntämisen ja liiketoiminnan edistäminen 	

Pohjoinen vihreä biotalous -ohjelman tutkimuksen painopistealueet (fokusalueet).

Ohjelman kokonaisrahoitus on ollut keskimäärin noin 27 miljoonaa euroa vuodessa. Ohjelmaa on ollut toteuttamassa viiden vuoden aikana mittava joukko tutkijoita ja muita asiantuntijoita (kaikkiaan 1 040 henkilötyövuotta). Tutkimuksen tuloksena on julkaistu referoituja artikkeleita noin 1 200 kappaletta ja muita artikkeleita noin 600 kappaletta. Tutkimukseen perustuvaa asiantuntija- ja kehittämistyötä sekä tutkimustiedon siirtoa käytäntöön on tehty lukuisissa yhteisrahoitteisissa hankkeissa, joiden osuus kokonaisrahoituksesta on ollut runsaat 60 %. Yrityksille ja erilaisille yhteisöille tehtävän tutkimus- ja kehittämistyön (asiakasrahoitteinen toiminta) osuus on ollut viiden prosentin luokkaa kokonaisrahoituksesta.



Pohjoinen vihreä biotalous -ohjelman rahoitus vuosina 2016–2020

2. Metsägenetiikan työkaluilla enemmän kasvua ja kestävyyttä geneettinen monimuotoisuus huomioiden

Katri Kärkkäinen, Anssi Ahtikoski, Tuija Aronen, Matti Haapanen, Kaisa Nieminen ja Mari Ru-
sanen

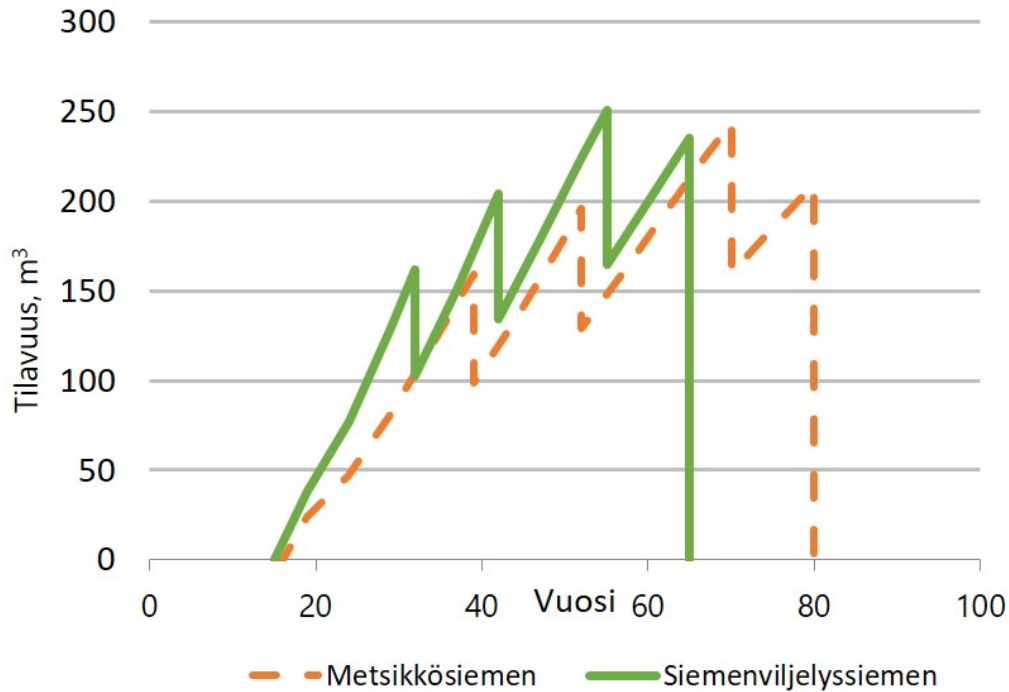
Kansallisen metsästrategian päivityksessä 2025 korostuu kestävä kehityksen tavoitteiden huomioiminen, esimerkiksi ilmastokestävä metsätalous ja monimuotoisuuden turvaaminen. Metsägeneettisellä tutkimuksella vastataan näihin haasteisiin esimerkiksi kehittämällä uusia jalostusmenetelmiä sekä tuottamalla uutta tietoa metsänjalostuksen tehostamiseen, ilmastomuutokseen vastaamiseen ja geneettisen monimuotoisuuden monitorointiin ja säilyttämiseen.

2.1. Metsänjalostuksen nykyisiä ja tulevia hyötyjä kannattaa analysoida

Pluspuuvalintaan perustuvia ensimmäisen sukupolven siemenviljelyksiä perustettiin Suomeen 1965–1975 välisenä aikana ja testattuja 1,5 sukupolven siemenviljelyksiä 1990-luvun lopulta alkaen. Parhaillaan metsänjalostuksessa tuotetaan aineistoja hyödynnettäväksi toisen sukupolven siemenviljelyssä ja kasvullisessa lisäyksessä. Jalostuksen tuomia kasvu- ja laatuhyötyjä on tarkasteltu kenttäkokeiden ja metsikkösimulaatioiden avulla. Ensimmäisen polven siemenviljelyssiemenellä perustettujen viljelymänniköiden keskikasvussa saatu jalostushyöty on arvioitu yli 10 %:ksi ja 1,5 sukupolven siemenviljelyssiemenen vastaava hyöty on jo yli 20 % (Kuva 3). Jalostetun materiaalin taloudellisia vaikutuksia eri intressiryhmille on arvioitu metsänkasvatussimulaatioiden ja optimointimallien avulla: jalostettu viljelyaineisto nostaa paljaan maan arvoa, ja hiilensidonnan taloudellinen arvottaminen voi tulevaisuudessa entisestään nostaa jalostetulla aineistolla saatavaa taloudellista hyötyä.

2.2. Geeni- ja genomitiedon hyödyntäminen jalostuksessa

Geeni- ja genomitieto tehostaa eläin- ja kasvinjalostusta ja nyt menetelmiä sovelletaan myös metsänjalostuksessa (Tietolaatikko 2). Useissa kansallisissa ja kansainvälisissä hankkeissa tutkitaan yksittäisiä geenejä, geeniverkostoja ja koko genomeja. Hankkeissa on kehitetty mm. mälle 50 000 geenimerkin "snp chip" työkalu, jota käytetään tutkittaessa kuinka metsänjalostusta voidaan tehostaa genomisen tiedon avulla (Kuva 4).



Kuva 3. MOTTI-ohjelmiston simulaatioon pohjautuva optimaalinen metsänkäsittely, kun tavoitteena on paljaan maan arvon maksimi 3 % laskentakorkokannalla, puuston tilavuuden kehitys pystyakselilla (y-akseli) ja metsikön biologinen ikä vaaka-akselilla (x-akseli). Yhtenäinen käyrä kuvaa jalostetulla materiaalilla (ns. 1,5 polven siemenviljelyssiemen) ja katkoviiva jalostamattomalla materiaalilla perustetun metsikön optimaalista käsittelyä eteläsuomalaisessa (Hyvinkää) metsikoissä.



Kuva 4. Jalostusta tehostetaan tutkimalla tärkeitä ominaisuuksia (kasvu, kasvurytmi, taudinkestävyys) eri ikävaiheissa ja etsimällä yhteyksiä genomimuutelmien ja ominaisuuksien muuntelun välille. Luken Haapastensyrjän koekasvihuoneessa tarkastellaan Suomen Akatemian BioFuture -ohjelman Genowood -hankkeen suurta mäntykoetta. Kuva: Sirkku Pöykkö.

Tietolaatikko 2: Genomipohjaisilla työkaluilla tehostettua koivun jalostusta

Koivun jalostusta voidaan nopeuttaa ja tehostaa uusilla menetelmillä. Rauduskoivun genomi on sekvensoitu suomalaisjohtoisesti (Salojärvi et al. 2017), mikä mahdollistaa niin jalostusaineistojen kuin luonnonmetsiköiden laajamittaiset genomiset analyysit. Geneettiset vertailut voivat auttaa tunnistamaan ominaisuuksiin vaikuttavia tärkeitä geenimuotoja mikä voi nopeuttaa testausta ja tehostaa metsänjalostusta.

Koivun perinteisessä valintajalostuksessa sukupolvien väli on ollut n. 20 vuotta. Geenitiedon kytkeminen jalostukseen ja koivulla jo jonkin aikaa Suomessa käytettyyn vauhtikukitustekniikkaan, jonka avulla puu saadaan kukkimaan jo kahden vuoden iässä, mahdollistaa jalostuksen huomattavan nopeuttamisen. Sukupolvien väli voidaan lyhentää jopa muutamaan vuoteen.

Tunnistamalla metsänjalostuksen kannalta tärkeimmät geenit ja geenimuodot (esim. Alonso-Serra et al. 2020) pystymme jatkossa varmistamaan sekä niiden rikastumisen jalostuspopulaatioissa että tutkimaan niiden yleisyyttä luonnonpopulaatioissa tulevaisuuden jalostustarpeita varten.



2.3. Jalostustulosten tehokkaampi vienti käytäntöön: kasvullinen lisäys ja optimaaliset metsänviljelymateriaalin käyttöalueet

Jalostuksen hyödyt siirtyvät käytäntöön parhaiten, kun kullekin viljelypaikalle valitaan sen ympäristöolosuhteisiin hyvin sopeutunut jalostettu alkuperä. Ilmaston nopea muuttuminen ja etenevä jalostus haastavat tarkastelemaan metsänviljelyaineistojen käyttöalueita uudelleen. Kansainvälisissä koalitiioissa on analysoitu eri alkuperien ja jalostusaineistojen kasvu- ja elävyystuloksia ja ennustettu niille optimaalisia käyttöalueita pitkän aikavälin sääaineistoihin ja ilmasto-muutoskenaarioihin perustuen. Työ alkoi männyn siemensierrojen vaikutusten mallinnuksesta. Uusien siirtomallien pohjalta kehitettiin avoin verkkopohjainen VILPAS-työkalu männyn metsänviljelymateriaalin valintaan (<https://metsainfo.luke.fi/fi/vilpas>). Työtä on jatkettu EU-hankkeessa B4EST, jossa on analysoitu kuusen siemensierroja ja tarkasteltu männyn siirtomallien sopeutuvuutta pidemmälle jalostetulle metsänviljelymateriaalille.

Jalostuksen hyötyjä voidaan siirtää metsänviljelyyn siemenviljelysten lisäksi myös kasvullisen lisäyksen kautta. Menetelmä on ollut mahdollinen jo pitkään lehtipuilla, kuten hybridihaavalla ja koivulla, mutta nyt havupuiden kasvullisen lisäyksen teknologia ottaa harppauksia kansallisen ja kansainvälisen tutkimuksen myötä (Tietolaatikot 3 ja 4).

Tietolaatikko 3: Kuusen kasvullinen lisäys – tutkimuksesta kaupallisiin pilotteihin

Kuusen kukinta vaihtelee vuodesta toiseen runsaasti, myös siemenviljelyksillä. Tästä syystä jalostetuista kuusensiemenistä on ajoittain pulaa. Lukessa on tutkittu mahdollisuuksia soveltaa kasvullista lisäystä kuusen taimituotannossa, täydentämään metsänomistajan vaihtoehtoja viljelyaineiston valinnassa. Kasvullisen lisäyksen etuina ovat jalostustulosten nopea saaminen käyttöön, siemenviljelyksiä suuremmat jalostushyödyt sekä parempi mahdollisuus halettujen ominaisuuksien valintaan. Toisaalta perinnöllisen monimuotoisuuden ylläpitämiseen on syytä kiinnittää erityistä huomiota.

Kuusen kasvullisessa lisäyksessä käytetään menetelmänä siemenalkioiden monistamista solukkoviljelyllä. Tutkimusohjelmassa on kehitetty menetelmää laboratoriomittakaavasta kohti käytännön sovelluksia, selvitetty tuotantoprosessin kustannusrakennetta ja etsitty ratkaisuja massatuotantoon siirtymisen helpottamiseksi. Samanaikaisesti on tuotettu ja testattu suuri määrä kaupalliseen lisäykseen soveltuvia aineistoja metsänjalostusohjelman parhaista puista.

Työn tuloksena Lukella on Euroopan laajin kokoelma kuusen solukkolinjoja, yli 4 000 genotyyppiä, joita säilytetään syväjäädetyttyinä tulevaisuuden käyttöä varten. Näistä yli 900 on testattu alkiontuotantonsa suhteen, ja testausprosessi jatkuu taimien kenttätestauksella yhdessä jalostusohjelman kanssa. Luke on myös rekisteröinyt erän kuusen solukkolinjoja metsänviljelyaineistoksi vuoden 2017 lopussa, ensimmäisenä Euroopassa. Tämä mahdollistaa taimien tuottamisen markkinoille. Perinnöllisen monimuotoisuuden turvaamiseksi rekisteröityyn erään kuuluu 12 täyssisarperhettä, joista kustakin monistetaan kerrallaan 10 genotyyppiä, yhteensä siis 120 genotyyppiä. Aineiston rekisteröimisen jälkeen Luke on toteuttanut vuodesta 2018 lähtien kaupallisia tuotantopilotteja useiden asiakkaiden kanssa, tuotantomäärien ollessa kymmeniätuhansia taimia.

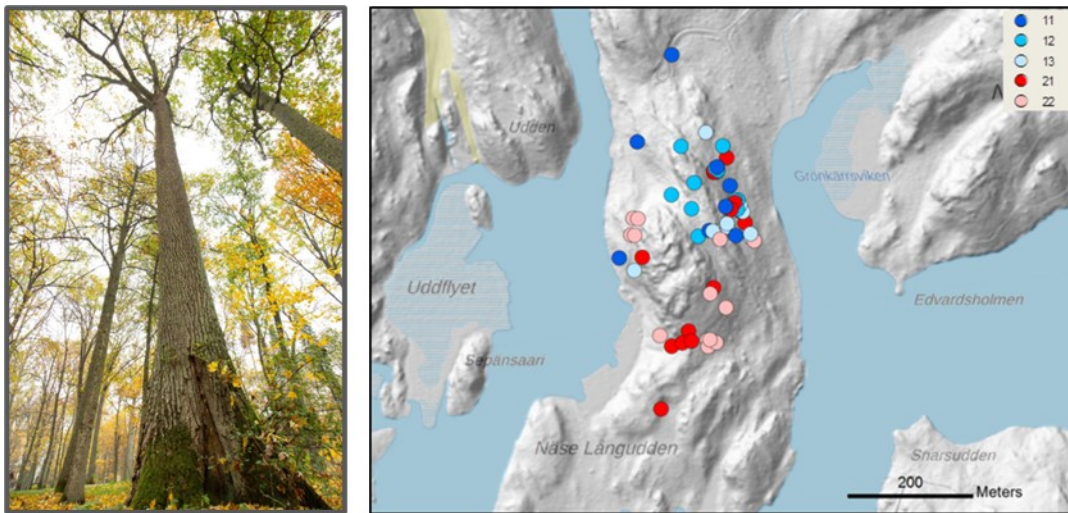
Toistaiseksi kuusen kasvullisesti lisättyjen taimien tuotantopilotit on toteutettu käsityönä. Tuotantoprosessin loppuvaiheet, joissa alkioita käsitellään yksittäin, tuottavat valtaosan kustannuksista. Jotta taimista tulisi hinnaltaan kilpailukykyisiä, on niiden tuotantoprosessia pysyttävä automatisoimaan. Yhdessä Kaakkois-Suomen Ammattikorkeakoulun kanssa Luke onkin tuottanut prototyyppin alkionpoimintarobotista, ja tämän robotin jatkokehitys on meneillään.

Luken vuonna 2019 tekemän kyselytutkimuksen mukaan kasvullisesti lisätty kuusen metsänviljelyaineisto nähdään kiinnostavana, ja metsänomistajat haluaisivat erityisesti paremmin ilmastoon sopeutunutta ja kestävyysominaisuuksiltaan parannettua aineistoa. He myös olisivat valmiita maksamaan jonkin verran enemmän entistä paremmasta taimia-aineistosta. Kestävyysominaisuuksista Lukessa on tutkittu juurikäpäkestävyyden parantamista. Yhdessä Ruotsin maatalousyliopiston kanssa tehdyn tutkimuksen mukaan tähän onkin hyvät mahdollisuudet yhdistämällä kasvullinen lisäys merkkigeeniperusteiseen valintaan. Juurikäpäkestävyydeltään parannetun aineiston tuotantoon ja kasvullisen lisäyksen siirtämiseen massatuotantoon paneudutaan jatkossa yhdessä kotimaisten alan yritysten kanssa vuonna 2021 alusta alkavassa Public Private Partnership -projektissa.



Tietolaatikko 4: Tammen geenivaratyössä sukulaisrakenteet otettava huomioon

Erityisen tärkeää on lisätä geneettistä tietoa niiden puulajien luonnonpopulaatioista, jotka kasvavat Suomessa levinneisyysalueensa rajalla ääriolosuhteissa. Suomalaisten tammimetsiköiden tutkimus osoitti, että vaikka tammen levinneisyys on sirpaleinen, metsiköt eivät eronneet geneettisesti toisistaan merkittävästi. Metsiköiden sisällä oli kuitenkin keskieu-rooppalaisia tammimetsiä vähemmän geneettistä monimuotoisuutta ja enemmän sukulaisrakenteita, jotka on otettava huomioon suojelutoimia ja viljelyaineiston keräämistä suunniteltaessa.



Kirjallisuus

- Ahtikoski, A., Haapanen, M., Hynynen, J., Karhu, J. & Kärkkäinen, K. 2018. Genetically improved reforestation stock provides simultaneous benefits for growers and a sawmill, a case study in Finland. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 33(5): 484–492.
<https://doi.org/10.1080/02827581.2018.1433229>
- Ahtikoski, A., Ahtikoski, R., Haapanen, M., Hynynen, J. & Kärkkäinen, K. 2020. Economic Performance of Genetically Improved Reforestation Material in Joint Production of Timber and Carbon Sequestration: A Case Study from Finland. *Forests* 11, 847.
<https://doi.org/10.3390/f11080847>
- Alonso-Serra, J., ...& Nieminen, K. 2020. ELIMÄKI Locus Is Required for Vertical Proprioceptive Response in Birch Trees. *Current Biology* 30: 589–599.
<https://doi.org/10.1016/j.cub.2019.12.016>

- Berlin M., Persson T., Jansson G., Haapanen M., Ruotsalainen S., Barring L. & Andersson Gull B. 2016. Scots pine transfer effect models for growth and survival in Sweden and Finland. *Silva Fennica* vol. 50 no. 3 article id 1562. 21 p. <http://dx.doi.org/10.14214/sf.1562>
- Haapanen, M., Hynynen, J., Ruotsalainen, S. et al. 2016. Realised and projected gains in growth, quality and simulated yield of genetically improved Scots pine in southern Finland. *Eur J Forest Res* 135: 997–1009. <https://doi.org/10.1007/s10342-016-0989-0>
- Haapanen, M. 2020. Performance of genetically improved Norway spruce in one-third rotation-aged progeny trials in southern Finland, *Scandinavian Journal of Forest Research*, 35(5-6): 221–226. <https://doi.org/10.1080/02827581.2020.1776763>
- Hayatgheibi, H., Berlin, M., Haapanen, M., Kärkkäinen, K. & Persson, T. 2020. Application of transfer effect models for predicting growth and survival of genetically selected Scots pine seed sources in Sweden. *Forests* 11(12), 1337. <https://doi.org/10.3390/f11121337>
- Jansson, G., Hansen, JK, Haapanen, M., Kvaalen, H. & Steffenrem, A. 2017. The genetic and economic gains from forest tree breeding programmes in Scandinavia and Finland. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 32(4): 273–286. <https://doi.org/10.1080/02827581.2016.1242770>
- Lim, K-J., Paasela, T., Harju, A., Venäläinen, M., Paulin, L., Auvinen, P., Kärkkäinen, K. & Teeri, T.H. 2016. Developmental changes in Scots pine transcriptome during heartwood formation. *Plant Physiology* 172: 1403–141. <https://doi.org/10.1104/pp.16.01082>
- Ojeda, DI., Mattila, T., Ruttink, T., Kujala, S., Kärkkäinen, K., Verta, JP. & Pyhäjärvi, T. 2019. Utilization of tissue ploidy level variation in de novo transcriptome assembly of *Pinus sylvestris*. *G3: Genes, Genomes, Genetics*. <https://doi.org/10.1534/g3.119.400357>
- Ojeda, DI., Mattila, T., Ruttink, T., Kujala, S., Kärkkäinen, K., Verta, JP. & Pyhäjärvi, T. 2019. Utilization of tissue ploidy level variation in de novo transcriptome assembly of *Pinus sylvestris*. *G3: Genes, Genomes, Genetics* Vol. 9, Issue 10. <https://doi.org/10.1534/g3.119.400357>
- Salojärvi, J., Smolander, OP., Nieminen, K. et al. 2017. Genome sequencing and population genomic analyses provide insights into the adaptive landscape of silver birch. *Nature Genetics*, Volume 49(6): 904–912. <https://doi.org/10.1038/ng.3862>
- Tikkinen, M., Varis, S., Peltola, H & Aronen, T. 2018a. Norway spruce emblings as cutting donors for tree breeding and production. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 33(3): 207–214. <https://doi.org/10.1080/02827581.2017.1349925>
- Tikkinen, M., Varis, S., Peltola, H. & Aronen, T. 2018b. Improved germination conditions for Norway spruce somatic cotyledonary embryos increased survival and height growth of emblings. *Trees* 32: 1489–1504. <https://doi.org/10.1007/s00468-018-1728-6>
- Tikkinen, M., Varis, S. & Aronen, T. 2018c. Development of Somatic Embryo Maturation and Growing Techniques of Norway Spruce Emblings towards Large-Scale Field Testing. *Forests* 2018, 9(6): 325. <https://doi.org/10.3390/f9060325>
- Vakkari, P., Rusanen, M., Heikkinen, J., Huotari, T. & Kärkkäinen, K. 2020. Patterns of genetic variation in leading-edge populations of *Quercus robur*: genetic patchiness due to family clusters. *Tree Genetics & Genomes* 16, 73. <https://doi.org/10.1007/s11295-020-01465-9>

- Varis, S., Klimaszewska, K. & Aronen, T. 2018. Somatic Embryogenesis and Plant Regeneration From Primordial Shoot Explants of *Picea abies* (L.) H. Karst. Somatic Trees. *Frontiers in Plant Science*, 24 October 2018 | <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01551>
- Varis, S., Ahola, S., Jaakola, L. & Aronen, T. 2017. Reliable and practical methods for cryopreservation of embryogenic cultures and cold storage of somatic embryos of Norway spruce. *Cryobiology* 76: 8–17. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28501323/>

3. Kohti kokonaiskestävää metsänhoitoa ja -käyttöä

Leena Finér, Jari Hynynen, Soili Haikarainen, Jarkko Hantula, Saija Huuskonen, Muhammad Kashif, Tuula Piri ja Eeva Vainio

Metsänhoidossa ja -käytössä on puuntuotannon ja sen kannattavuuden ohella huolehdittava metsien terveydestä ja sopeutumisesta muuttuvaan ilmastoon, lisättävä monimuotoisuutta sekä vähennettävä metsänhoidosta aiheutuvia haitallisia ympäristövaikutuksia. Tutkimuksen tavoitteena on edistää kokonaiskestävyyttä. Aihepiirin tutkimus on tuottanut tietoa metsänhoidon menetelmistä, tuhoriskeihin varautumisesta ja metsänkasvatuksen ympäristövaikutusten hallinnasta. Näistä esimerkkeinä tässä luvussa esitetään tuloksia sekametsien kasvatuksesta, taimikonhoidon tuotos- ja tuottovaikutuksista, juurikäävän torjunnasta ja vesistökuormituksesta.

3.1. Sekapuustolla elinvoimaisuutta metsiin

Metsien elinvoimaisuus on tärkein edellytys niiden kestävyydelle muuttuvissa kasvuolosuhteissa. Sekametsiä kasvattamalla voidaan edistää metsien kestävyyttä ja monitavoitteista metsien hyödyntämistä niin ilmastokestävyuden, monikäytön kuin monimuotoisuudenkin kannalta.

Sekametsien osuus on vielä pieni

Kolmannes Suomen metsämaan pinta-alasta on jossain määrin sekapuustoisia (Kuva 5). Lisäksi 14 prosenttia pinta-alasta on havu- ja lehtipuuston muodostamia sekametsiä, joissa havupuuston tai lehtipuuston osuus on alle 75 prosenttia.



Kuva 5. Sekametsien osuus Suomen metsämaan pinta-alasta.

Sekametsillä lisätään metsien elinvoimaisuutta



Sekametsien edut ja haitat verrattuna kuusikkoon

MAAPERÄ

- + Maaperän ominaisuudet paranevat ja rakenne moninaistuu

ALUSKASVILLISUUS

- + Kasvilajisto monipuolistuu ja runsastuu

MONIMUOTOISUUS

- + Elinympäristöjen määrä lisääntyy
- + Lintujen lajimäärä lisääntyy
- + Vanhat haavat ja raidat ovat yksittäisinäkin merkittäviä elinympäristöjä muille lajeille

TUHOT

- + Kestävyys monia merkittäviä sieni- ja hyönteistuhoja vastaan lisääntyy (kuusen juurikäöpä ja kirjanpaina)
- Hirvituho-riskit voivat lisääntyä
- Useilla eri puulajeilla esiintyvät taudit ja tuholaiset voivat lisääntyä tehokkaammin (mesisienet)

MONIKÄYTTÖ

- + Virkistys- ja maisema-arvo suurempi
- + Mustikkasadot suuremmat
- +/- Sienilajeja enemmän, sadot pienemmät

PUUNTUOTANTO JA HIILENSIDONTA

- +/- Puuntuotantoon ei suurta vaikutusta
- + Parempi elinvoimaisuus ja tuhonkestävyys varmistavat hiilinieluja ja -varastoja

* Sekametsät eivät sinänsä paranna elinolosuhteita niille uhanalaisille lajeille, jotka tarvitsevat vanhaa metsää ja kuollutta puuta.

Lähde: Huuskonen, S. ym. 2021.
<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118558>

Kuva 6. Sekametsien mahdollisuudet edistää metsien monitavoitteista hyödyntämistä.

Sekametsän kasvatuksen hyödyt

Metsänkasvatuksen tavoitteiden monipuolistuessa myös metsien tulisi olla entistä monimuotoisempia. Puuntuotannon lisäksi metsien tulee samaan aikaan hillitä ilmastomuutosta, turvata monimuotoisuutta, olla tärkeä osa veden ja ravinteiden kiertoa sekä tuottaa virkistysmahdollisuuksia kansalaisille. Sekametsät tarjoavat hyvät mahdollisuudet monitavoitteiseen metsien käyttöön ja hoitoon (Kuva 6).

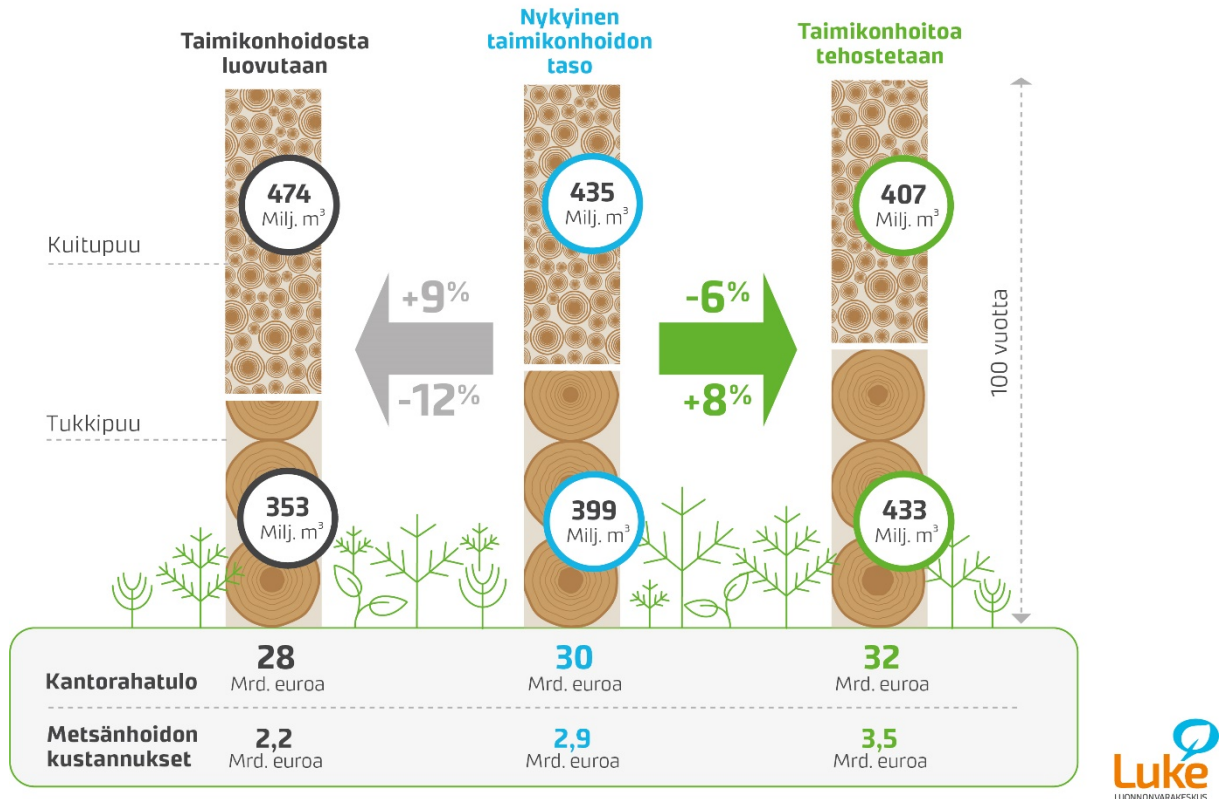
Kiinnostusta sekametsien kasvattamiseen on nyt paljon. Hirvieläintuhojen estäminen on sekametsän kasvatuksen suurin haaste, johon tulisi löytää kustannustehokkaita keinoja. Vielä ei ole myöskään riittävästi tutkimustietoa uudistamis- ja kasvatusmenetelmistä, joilla saadaan aikaan elinvoimainen ja sekapuustoisuuden säilyttävä metsä.

3.2. Taimesta tukkipuiksi

Suomessa puu kasvaa hitaasti. Puuntuotantomme ei voi kansainvälisesti kilpailla nopeakasvuisen puun määrällä, vaan tuotetun raaka-aineen korkealla laadulla. Suuntaamalla puuntuotantoa laadukkaamman puun kasvatukseen tuotetaan biotaloudelle arvokasta, moneen käyttöön soveltuvaa raaka-ainetta, myös hiiltä pitkäkestoisesti sitovien tuotteiden valmistamiseen. Metsänomistajalle laadukkaamman puun kasvatusta on taloudellisesti paras vaihtoehto, koska tukkipuusta

saatavien myyntitulojen osuus kaikista hakkuutuloista on noin 70 %. Metsänhoidon keinoin voidaan edistää korkealaatuisen järeän puun tuotosta, ja turvata metsien elinvoimaisuus pitkän kasvatusajan aikana (Kuva 7).

Taimikonhoito lisää tukkipuun tuotosta ja kantorahatuloja



Kuva 7. Taimikonhoidon pitkän aikavälin vaikutuksia koko maan tasolla.

Metsänhoidon haasteena kannattavuus

Hyvälaatuisen puun kasvattaminen edellyttää investointeja metsänhoitoon. Metsänomistajalle ne voivat olla haastavia, koska hän saa taloudellisen hyödyn vasta vuosikymmenien kuluttua. Biotalous ja ilmastohyötyjen kannalta metsänhoitotöiden toteutus on kuitenkin tärkeä turvata, esimerkiksi kehittämällä metsänomistajille kannusteita metsänhoitotöiden toteuttamiseen.

Aikaisemman tutkimuksen perusteella tunnetaan, miten taimikonhoito tulisi toteuttaa metsikön kasvatuksessa. Uutta tutkimustietoa tuotettiin taimikoiden ja nuorten metsien käsittelytapojen vaikutuksista pitkällä aikavälillä ja suuraluetasolla. Menetelmänä käytettiin skenaariotarkasteluita, joissa hyödynnettiin kattavaa ja ajantasaista metsävaratietoa ja simulointimalleja. Tulokset osoittivat, että metsänhoitosuosituksen mukaisella taimikonhoidolla voidaan lisätä merkittävästi järeän ainespuun tuotosta. Koko maan tasolla 100 vuoden tarkastelujaksolla tämä tarkoitti nykyisten taimikoiden hoitoon panostamisen lisäävän tukkipuun tuotosta 34 miljoonaa kuutiometriä (8 %) ja 1,7 miljardin euron (6 %) lisäystä kantorahatuloihin.

Taimikonhoito lisää tukkipuun tuotosta ja kantorahatuloja

Koko Suomen mittakaavassa nykyistä aktiivisemmalla taimikonhoidolla voidaan saada tuntuva lisäys tukkipuun tuotokseen nykytasoon verrattuna. Tällä hetkellä taimikoiden hoitotarpeesta on toteutettu koko maassa vain vähän yli puolet. Valtakunnan metsien 12. inventointitulosten mukaan taimikonhoitorästejä on yli 700 000 hehtaaria.

Kohti kustannustehokkaampaa taimikonhoitoa

Taimikonhoidon kannattavuus on parhaimmillaan Etelä-Suomen viljavilla kasvupaikoilla, joissa puusto kasvu on nopeaa, mutta myös taimikkovaiheen kilpailu on ankaraa. Näillä kohteilla taimikonhoidon viivästyminen heikentää nopeasti kannattavuutta.

3.3. Kohti juurikäävänkestäviä metsiä

Juurikäävät aiheuttavat puusukupolvesta toiseen pahenevan ongelman. Siksi niiden torjunta on eteläisessä ja keskisessä Suomessa lakisääteistä kivennäismailla ja turvemaillakin kuusen osalta. Kesähakkuissa käytetyt torjuntamenetelmät eivät kuitenkaan poista jo kasvupaikalle ehtinyttä juurikääpää, ja seuraava puusukupolvi voi olla pahasti juurikäävän vaivaama vaikka edellisen puusukupolven tartunta olisi ollut vähäistä.

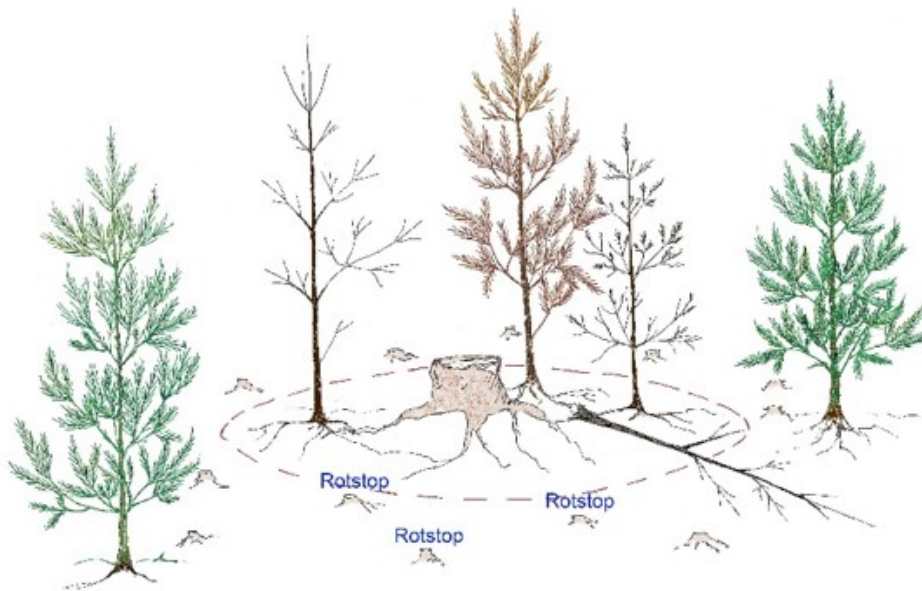
3.3.1. Juurikääväntorjunta kannattaa turvemaiden männiköissä

Luke ja Metsäkeskus osoittivat, että juurikääpää esiintyy myös turvemailla. Siten sen torjunta kesähakkuissa on järkevää aina kun kasvupaikan tuotto-odotukset ylittävät torjuntakustannukset.

Männyllä juurikääpä aiheuttaa tyvitervastaudin, joka tappaa puita ryhmittäin. Metsänomistajalle tuho voi olla erittäin merkittävä ilmaantuessaan jo taimikkovaiheessa (Kuva 8). Männynjuurikäävän leviämistä juuristoja pitkin saatiin vähennettyä saartamalla, eli poistamalla alkavan pesäkkeen ympäriltä terveitä mäntyjä ja käsittelemällä ne juuristoihin kasvavalla harmaaoravakalla (Kuva 9). Käsitteleminen sopii nuorille taimikoille.



Kuva 8. Juurikäävän pilaama männikkö lounaisessa Suomessa. Kuva: Jarkko Hantula.



Kuva 9. Periaatekuva saartamisesta, jossa männyn juurikäävän leviämistä pyritään estämään poistamalla puita pesäkkeen ympäriltä sekä kantokäsittelyllä. Piirros: Tuula Piri.

Juurikäävän virustutkimukset, erityisesti torjuntaan liittyen

Juurikäävältä on tunnistettu kaksi virusta, jotka hidastavat juurikäävän kasvua jopa yli 90 %. Viruksia voidaan hyödyntää siten, että ympätään niitä kantava juurikääpärihmasto valmiiksi juurikääpäiseen kanton. Virusten siirtymistehokkuus oli kuusipölleissä testattuna peräti 94 %, joten juurikäävän virustorjunnan kehittämistä kannattaa edelleen jatkaa.

Kuusella on juurikäävänkestävyyttä lisäävä geenimuoto

Ruotsalaiset havaitsivat kuusella geenimuodon, joka lisää kestävyyttä juurikääpää vastaan. Sen havaittiin esiintyvän myös kuusen jalostuspopulaatioissa, joten sitä voidaan jatkossa käyttää kuusenjalostuksen valintakriteerinä tai valittaessa kasvullisesti lisättäviä puuyksilöitä.

Juurikäävän torjunnan laatujärjestelmä ja juurikääpäopas

Juurikäävän torjunnan tultua pakolliseksi säädettiin torjuntaan omavalvontavelvollisuus. Sitä varten Luke teki yhdessä Metsäkeskuksen kanssa omavalvontaohjeen, joka on vapaasti käytettävissä. Samalla koottiin yhteen torjunnan kannalta oleellinen juurikääpä-tieto oppaaseen, joka on vapaasti ladattavissa internetistä.

3.4. Uudet arviot metsätalouden vesistökuormituksesta

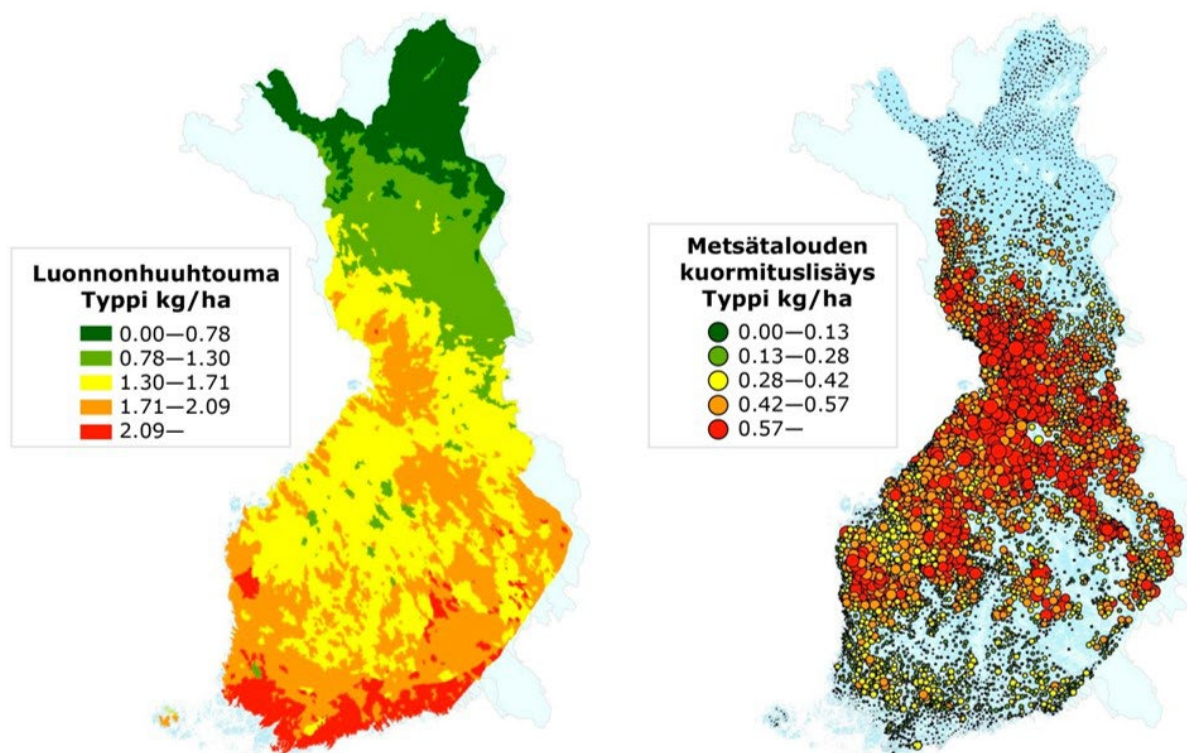
Luotettavat arviot metsätalouden vesistökuormituksesta ovat perustana vesiensuojelun kehittämiselle. Arvioita tarvitaan myös EU:n vesipuitedirektiivin toteutuksessa ja kansainvälisissä raportoinneissa. Vanhoja metsätalouden vesistökuormitusarvioita on arvosteltu koska ne eivät huomioineet vanhoilta ojitusalueilta tulevaa kuormitusta. Luken, SYKE:n ja Tapio Oy:n tutkijat kokosivat tietokannoista laajan seuranta-aineiston ja tuottivat uudet valtakunnalliset ja alueelliset luonnonhuuhtouman ja metsätalouden vesistökuormituksen arviot (Taulukko 1). Uusien arvioiden mukaan metsätalouden osuus typen kokonaiskuormituksesta on 17 % (8 200 tonnia/vuosi) ja fosforikuormituksesta 35 % (620 tonnia/vuosi). Metsätalouden uusissa kuormitusarvioissa näkyy selvästi metsäojitusten vaikutus. Nämä kuormitusarviot ovat suurempia kuin hallinnossa ja raportoinneissa aiemmin käytetyt ja Tilastollisissa vuosikirjoissa julkaistut vuosiarviot 3 250 tonnia typpeä ja 230 tonnia fosforia.

Alueelliset erot huomioitava metsätaloudessa ja vesiensuojelussa

Luonnonhuuhtouma on suurinta Etelä-Suomessa (Kuva 10). Metsätalouden aiheuttama ravintekuormitus on puolestaan suurinta Pohjanmaalla ja Kainuussa, missä on paljon ojitettuja soita. Perämeren valuma-alueella hiili- ja typpikuormitus on suurta, koska siellä on runsaasti ojitusalueita.

Taulukko 1. Uudet arviot metsistä ja soilta tulevasta typen, fosforin ja orgaanisen hiilen luonnonhuuhtoumasta ja metsätalouden aiheuttamasta vesistökuormituksesta.

	Metsätalous	Luonnonhuuhtouma	Yhteensä metsistä
Typpi			
Mg/vuosi	8 200	39 000	47 300
%	17	82	100
Fosfori			
Mg/vuosi	620	1 160	1 780
%	35	65	100
Orgaaninen hiili			
Mg/vuosi	222 000	1 592 000	1 814 000
%	12	88	100



Kuva 10. Typen luonnonhuuhtouma ja metsätaloudesta aiheutuva kuormitus.

Fosforikuormitus vähentynyt, typpi- ja hiilipitoisuudet kasvaneet

Hankkeen tulosten mukaan metsistä tuleva fosforikuormitus on vähentynyt viime vuosiin asti. Tämä johtunee suometsien fosforilannoituksen loppumisesta ja siirtymisestä hidasliukoisiin lannoitteisiin.

Valumaveden typpi- ja hiilipitoisuuksissa taas havaittiin nousevia trendejä vuosina 1978–2018, jotka voivat johtua ilmaston lämpenemisestä ja happaman laskeuman pienenemisestä. Uudet kuormitusarviot on sisällytetty vesienhoidossa käytettävään VEMALA-vesistömallijärjestelmään.

Kirjallisuus

- Finér, L., Lepistö, A., Karlsson, K., Räike, A., Härkönen, L., Huttunen, M., Joensuu, S., Kortelainen, P., Mattsson, T., Piirainen, S., Sallantausta, T., Sarkkola, S., Tattari, T. & Ukonmaanaho, L. 2020a. Drainage for forestry increases N, P and TOC export to boreal surface waters. *Science of the Total Environment*. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144098>
- Finér, L., Lepistö, A., Karlsson, K., Räike, A., Tattari, S., Huttunen, M., Härkönen, L., Joensuu, S., Kortelainen, P., Mattsson, T., Piirainen, S., Sarkkola, S., Sallantausta, T. & Ukonmaanaho, L. 2020b. Metsistä ja soilta tuleva vesistökuormitus 2020 – MetsäVesi-hankkeen loppuraportti. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisuja 2020: 6. 77 s.

- Haikarainen, S., Huuskonen, S., Ahtikoski, A., Lehtonen, M., Salminen, H., Siipilehto, J., Korhonen, K.T., Hynynen, J. & Routa, J. 2021. Does juvenile stand management matter? Regional scenarios of the long-term effects on wood production. *Forests*, 12(1), 84. <https://doi.org/10.3390/f12010084>
- Hantula, J. & Vainio, E.J. 2016. Sienivirusten potentiaali juurikäävän torjunnassa. *Metsätieteen aikakauskirja* 2/2016: 111–123. <https://doi.org/10.14214/ma.5959>
- Huuskonen, S., Haikarainen, S., Sauvula-Seppälä, T., Salminen, H., Lehtonen, M., Siipilehto, J., Ahtikoski, A., Korhonen, K.T. & Hynynen, J. 2020. Benefits of juvenile stand management in Finland – impacts on wood production based on scenario analysis. *Forestry: An International Journal of Forest Research* 93: 458–470. <https://doi.org/10.1093/forestry/cpz075>
- Huuskonen, S., Domisch, T., Finér, L., Hantula, J., Hynynen, J., Matala, J., Miina, J., Neuvonen, S., Nevalainen, S., Niemistö, P., Nikula, A., Piri, T., Siitonen, J., Smolander, A., Tonteri, T., Uotila, K. & Viiri, H. 2021. What is the potential for replacing monocultures with mixed-species stands to enhance ecosystem services in boreal forests in Fennoscandia? *Forest Ecology and Management* 479. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118558>
- Piri, T. & Silver T. 2017. Havaintoja tyvitervastaudista turvemaiden männiköissä. *Suo* 68: 1–12. <http://www.suo.fi/pdf/article10110.pdf>
- Piri, T., Selander, A., Hantula, J. & Kuitunen, P. 2019. Juurikäpätuhojen tunnistaminen ja torjunta. Suomen metsäkeskus, Luonnonvarakeskus & Maa- ja metsätalousministeriö. 56 s. ISBN 978-952-283-053-1. <https://jukuri.luke.fi/handle/10024/544622>

4. Tiedolla, taidolla ja tekniikoilla parempaa huomista rakentamassa

Johanna Routa, Perttu Anttila, Annika Kangas, Hannu Hirvelä, Pekka Hyvönen, Kari Härkönen, Kari T. Korhonen, Leena Kärkkäinen, Juha Laitila, Eeva Lehtonen, Reetta Lempinen, Markus Lier, Timo Muhonen, Yrjö Nuutinen, Lauri Sikanen, Anne Tolvanen ja Kari Väättäinen

Suomen biotalousstrategian johtoaajatuksena on, että maassamme luodaan kilpailukykyisiä ja kestäviä biotalouden ratkaisuja maailmanlaajuisiin ongelmiin ja synnytetään sekä kotimaahan että kansainvälisille markkinoille uutta liiketoimintaa, joka tuo hyvinvointia koko Suomelle. Monipuolista, luotettavaa ja ajantasaista tietoa metsävaroista ja biomassojen laadusta, sijainnista ja saavutettavuudesta tarvitaan kaikkien toimijoiden käyttöön. Biomassan korjuun ja varastoinnin kustannustehokkuutta ja ympäristöystävällisyyttä kehitetään ja parannetaan mm. digitalisaation keinoin.

4.1. Uusi tekniikka apuna tarkemman metsävaratiedon tuottamisessa

Metsävaratiedot ovat metsäbiotalouden toimintojen suunnittelun perusta. Ajantasainen ja laadukas metsävaratieto kaikessa päätöksenteossa on ensiarvoisen tärkeää, jotta metsien käytölle asetetut tavoitteet saavutetaan (Tietolaatikko 5). Metsävaratiedon keruussa hyödynnettävää teknologiaa kehitetään koko ajan. Kaukokartoituksen rooli korostuu sitä enemmän, mitä pienemmille alueille ja mitä tuoreempaa tietoa halutaan. Kunnittaisten metsävaratietojen tuottamisessa on hyödynnetty satelliittikuvia jo vuosikymmeniä. Viime vuosina on otettu laajasti käyttöön laserkeilaus, jolla tuotetaan 3D-tietoa. Latvuksen pintamallista saadaan puuston tiheyden lisäksi luotettavasti arvioitua puiden pituus, ja sitä kautta selkeästi 2D-tietoa luotettavampi puuston tilavuusarvio.

Nykytekniikan, kuten maalaserkeilainten, avulla voidaan kerätä myös sellaista tietoa, jota aikaisemmin ei ollut mahdollista hankkia lainkaan, tai jonka hankkiminen olisi ollut erittäin kallista. Keilaus tuottaa tuhansien pisteiden muodostaman pilven, jossa jokainen piste kuvaa lasersäteen osumakohtaa rungolla ja oksistossa. Kun pistepilvestä erotellaan ensin yksittäiset puut, voidaan laskea vaikkapa kunkin puun läpimitta, tilavuus ja oksien määrä ja laatu eri korkeuksilla. Vaikka laitteet ovat toistaiseksi kalliita, ja laskenta vaatii runsaasti aikaa ja asiantuntemusta, uudet laitteet ovat tulleet jäädäkseen.

Raaka mittaustieto ei vielä riitä, vaan se on jalostettava käyttökelpoiseen muotoon, eli syöttötiedoiksi, parametreiksi ja yhtälöiksi erilaisiin laskentaohjelmistoihin ja simulaattoreihin. Näiden ohjelmistojen avulla tuotetaan analyysejä esimerkiksi monimuotoisuuden kehittymisestä, ilmastonmuutoksen vaikutuksesta, puuston hiilinieluista ja tulevista hakkuumahdollisuuksista. Jotta niiden avulla on mahdollista tehdä oikeita päätöksiä, myös tuotetun tiedon laatu on tunnettava. Uudet ja muuttuvat tietotarpeet edellyttävät tutkimukselta kansainvälisesti korkeatasoista menetelmäkehitystä.

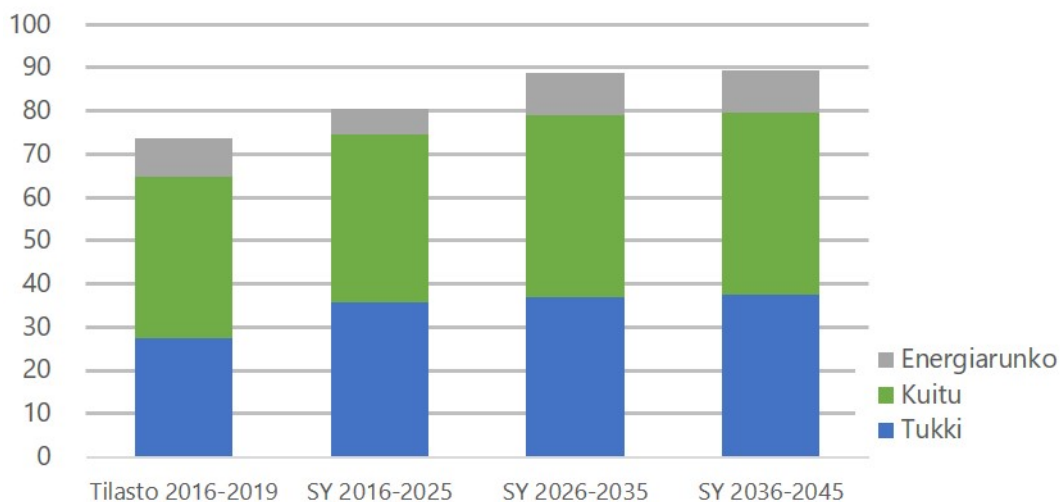
Luken inventointiosaamista hyödynnetään myös kansainvälisesti (Tietolaatikko 6). Luken koordinoimassa Horizon 2020-ohjelmasta rahoitetussa DIABOLO-hankkeessa tuotettiin tarkempaa, yhtenäisempää ja ajantasaisempaa tietoa metsävaroista Euroopan kansallisten metsien inventointien yhteistyöverkoston kautta (ENFIN). DIABOLO-hanke vahvisti merkittävästi inventoinnilla tuotetun tiedon tunnettuutta EU:n hallinnossa.

4.2. Hakkuumahdollisuuslaskelmat

Luke tuottaa metsien tuotanto- ja käyttömahdollisuusarvioita metsätalouden toimijoiden käyttöön. Arviot perustuvat valtakunnan metsien inventointitietoihin. Tavoitteena on tuottaa yhä monipuolisempia arvioita siitä, miten metsävarat riittävät kestävästi eri käyttötarkoituksiin, kuten metsäteollisuuden perinteisille tuotteille, biojalostamoihin sekä tulevaisuudessa laajemmin myös muille ekosysteemipalveluille. Vuonna 2020 laadittu arvio suurimmalle ylläpidettävissä olevalle aines- ja energiapuun hakkuukertymälle (SY) vuosille 2016–2025 on keskimäärin 80,5 miljoonaa kuutiometriä runkopuuta vuodessa (Kuva 11). Siitä on tukki- ja kuitupuuta 74,6 ja energiarunkopuuta 5,9 miljoonaa kuutiometriä. Lisäksi voidaan korjata hakkuutähteitä ja kantoja energiakäyttöön 13,5 miljoonaa kuutiometriä. Tämän suuruiset hakkuut johtaisivat siihen, että metsät olisivat ko. ajanjaksolla 18 miljoonan hiilidioksidiekvivalenttitonnin suuruinen vuotuinen hiilinielu.

Arvio suurimmalle ylläpidettävissä olevalle runkopuun hakkuukertymälle on 3,5 miljoonaa kuutiometriä pienempi kuin vuoden 2018 arvio. Muutos johtuu muun muassa ainespuuhakkuiden hukkapuun tarkennetusta laskennasta, jonka seurauksena hukkapuun määrä lisääntyi ja ainespuun hakkuukertymä pieneni laskelmassa. Suurin ylläpidettävissä oleva hakkuumahdollisuusarvio on laskelmamäärityksiltään sama kuin aiempi suurin kestävä hakkuumahdollisuusarvio, vain nimi on vaihdettu.

Runkopuun tilastoitu hakkuukertymä oli vuosina 2016–2019 keskimäärin 73,5 miljoonaa kuutiometriä vuodessa, joka on 91 prosenttia suurimman ylläpidettävissä olevan kertymän arviosta. Tukkikertymä oli 27,4 miljoonaa kuutiometriä (tukkikertymän arviosta 77 prosenttia).



Kuva 11. Runkopuun hakkuukertymä, miljoonaa kuutiometriä vuodessa.

Tietolaatikko 5: Maankäytön suunnittelun tuki – VMikaava

Luken kehittämässä VMikaava Tulospalvelussa (<http://vmikaava.luke.fi>) käyttäjät voivat tarkastella maakunnittain ja koko Suomen alueelta lakisääteisen ja omistajan päätökseen perustuvan suojelun sekä maakuntakaavamerkintöjen ja -määräysten vaikutuksia erilaisiin ekosysteemipalveluihin. Palvelusta saatavilla arvioilla voidaan havainnollistaa muun muassa sitä, kuinka maankäyttöpäätösten negatiiviset vaikutukset puuntuotantoon voivat heijastua myönteisinä vaikutuksina joihinkin muihin ekosysteemipalveluihin kuten esimerkiksi mustikkasatoon.

VMikaava Tulospalvelu

Tulospalvelu tuottaa määrällisiä arvioita lakisääteisen ja omistajan päätökseen perustuvan metsien suojelun sekä maakuntakaavamerkintöjen ja -määräysten erilaisten tulkintojen mahdollisista vaikutuksista puuntuotantoon ja muihin ekosysteemipalveluihin. Arviot kuvaavat erilaisten tulkintojen vaikutuksia verrattuna tilanteeseen, jossa metsät käsitellään metsänhoidon suositusten mukaisesti ilman mitään metsänkäsitteilyn rajoituksia. Tulkintojen selitykset ja palvelun tarkempi kuvaus löytyvät alla olevista laatuselosteista.

Palvelun kuvaus | Laskennan vaiheet | Aineistot | Laskelmaoletukset | Laskelmat | Tulokset | Vaikutukset | Luokitellut | Kirjallisuus

Alueet /

- ☒ Ahvenanmaa
- ☐ Uusimaa
- ☐ Varsinais-Suomi
- ☐ Satakunta
- ☐ Kanta-Häme
- ☐ Pirkanmaa
- ☐ Päijät-Häme
- ☐ Kymenlaakso
- ☐ Etelä-Karjala
- ☐ Etelä-Savo
- ☐ Pohjois-Savo
- ☐ Pohjois-Karjala
- ☐ Keski-Suomi
- ☐ Etelä-Pohjanmaa
- ☐ Pohjanmaa
- ☐ Keski-Pohjanmaa
- ☐ Pohjois-Pohjanmaa
- ☐ Kainuu
- ☐ Lappi
- ☐ Koko maa

Tulokset /

Maakuntakaavamerkintöjen tulokset metsänkäsitteilyrajoituksille

- ☒ Muut päätökset - Muut kuin maakuntakaavoihin perustuvat metsänkäsitteilyrajoitukset
- ☒ Lievä - Lievät metsänkäsitteilyrajoitusten tulokset
- ☒ Todennäköinen - Todennäköisimmät metsänkäsitteilyrajoitusten tulokset
- ☒ Tiukka - Tiukat metsänkäsitteilyrajoitusten tulokset

Vaikutukset /

Metsävarat (2016)

- ☐ Metsämaan pinta-ala
- ☐ Kitumaan pinta-ala
- ☐ Puuston runkotilavuus metsämaalla
- ☐ Puuston runkotilavuus kitumaalla
- ☐ Puustoon sitoutuneen hienien määrän määrä- ja kitumaalla
- ☐ Puuston kantohinta-arvo metsämaalla (Tulossa)

Metsien käyttö (2016-2025)

- ☐ Ainespuukertymän tilavuus metsämaalla
- ☐ Energiapuukertymän tilavuus metsämaalla
- ☐ Puustoon sitout. hienien määrän muutos metsä- ja kitumaalla
- ☐ Kantorahatulos metsämaalla
- ☐ Puunkorjuun kustannukset metsämaalla
- ☐ Työvoima
- ☐ Mustikkasato metsämaalla
- ☐ Puolukkasato metsämaalla

Muut (2025)

- ☐ Maisema-arvo metsä- ja kitumaalla
- ☐ Ulkoilu-arvo metsä- ja kitumaalla

Luokitellut /

Käsitteilyluokka

- ☐ Metsänkäsitteily sallittu
- ☐ Rajoitettu metsänkäsitteily
- ☐ Ei metsänkäsitteilyä

Omistajaryhmä

- ☐ Yksityiset ja yhtiöt
- ☐ Muut omistajaryhmät

Ainespuukertymän puutavaralaji

- ☐ Tukkikertymä
- ☐ Kuitukertymä

Energiapuukertymän jae

- ☐ Runkopuu
- ☐ Muut (oksat, lehdet, kannot ja juuret)

Taulukko Pylväät Tyhjennä valinnat

Palvelua varten tehdyt laskelmat toteutettiin Luken MELA-ohjelmistolla. Tuottovaatimuksena käytettiin puuntuotannon nettotuottojen nykyarvon maksimointia 5 prosentilla. Yksi laskelma (Arvio ilman rajoituksia) toteutettiin ilman maankäyttöpäätöksistä johtuvia metsänkäsitteilyn rajoituksia. Neljässä laskelmassa oli mukana lakisääteisiä ja omistajan päätökseen perustuvia suojelualueita ja/tai alueita, joilla oli maakuntakaavamerkintöjä ja -määräyksiä. Näillä alueilla metsien käsitteilyä rajoitettiin. Palvelussa tulokset esitetään edellä mainittujen neljän laskelman ja Arvio ilman rajoituksia -laskelman erotuksena.

Esimerkkejä verkkopalvelusta saatavista tulosteista (katso esimerkkien selitykset kohdasta Palvelun kuvaus):

Pohjois-Karjala (2016-2025)					
Ainespuukertymän tilavuus metsämaalla 1000 m ³ /v	Arvio	Muutos maakuntakaavamerkintöjen tulokkeen mukaan			
Ainespuukertymän puutavaralaji	ilman rajoituksia	Muut päätökset	Lievä	Todennäköinen	Tiukka
Tukkikertymä	4 887	-615	-625	-667	-720
Kuitukertymä	4 406	-519	-525	-552	-583
Yhteensä	9 292	-1 134	-1 149	-1 219	-1 303

Pohjois-Pohjanmaa (2016-2025)					
Mustikkasato metsämaalla 1000 kg/v	Arvio	Muutos maakuntakaavamerkintöjen tulokkeen mukaan			
	ilman rajoituksia	Muut päätökset	Lievä	Todennäköinen	Tiukka
	20 778	1 156	1 214	1 301	1 563

Tietolaatikko 6: Inventoinnin tuki kehittyvissä maissa

Maailmanlaajuinen REDD+-ohjelma (Reduced Emissions from Deforestation and Forest Degradation, and land use change) tarjoaa kehittyville maille kannustimia metsäkadon hillitsemiseen ja edellyttää metsien seurantajärjestelmää maankäytön seurantaan. Luke on tukenut Suomen Ulkoministeriön ja FAO:n rahoituksella tällaisten seurantajärjestelmien kehittämistä useissa maissa.

Tuorein esimerkki on Myanmar, jossa vuodesta 2017 alkaen on koulutettu luonnonvaraministeriön metsäosaston (FD), metsäntutkimuslaitoksen (FRI) ja metsäyliopiston (UFES) asiantuntijoita metsien inventoinnin käytännön toteutukseen, tiedonhallinnan järjestelmiin ja tilastollisiin menetelmiin sekä kaukokartoitukseen. Vuosittain on pidetty 7–9 koulutustilaisuutta sekä ajantasaistettu mm. UFES:n GIS-laboratoriota. Merkittävänä osiona on ollut myös maaperäanalytiikan parantaminen. FRI:n ja UFES:n maaperälaboratoriot on ajantasaistettu laitehankinnoilla ja uusituilla analyysiohjeilla. Lisäksi FD:n maastoryhmät on koulutettu maaperänäytteiden ottoon.



Ilma- ja pönkkäjuurten sekä upottavan liejun vuoksi koealamittaukset ovat vähintäänkin haasteellisia Myanmarissa mangrovella. Kuva: Pekka Hyvönen, Luke.

4.3. Digitaalisilla kartoilla lisätään tehokkuutta ja ympäristöystävällisyyttä puunkorjuussa

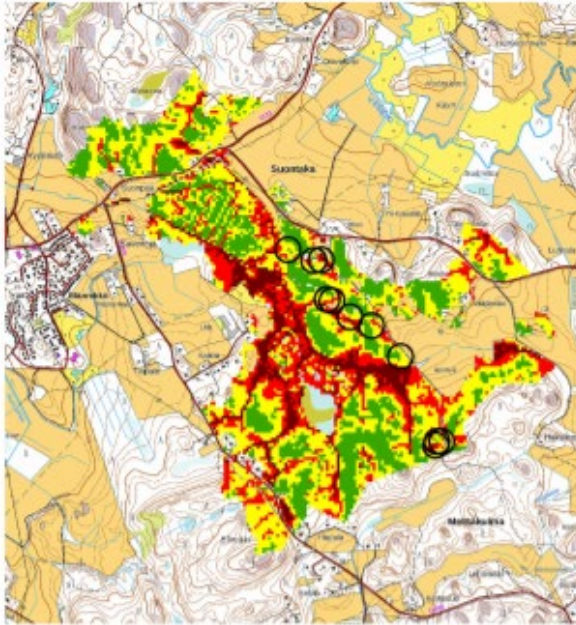
Digitalisaatio, avoimet aineistot sekä konedata ovat mahdollistaneet uusien karttatuotteiden kehittämisen ja käyttöönoton koneellisessa puunkorjuussa. Digitalisaation ja avoimien tietomassojen nopea kehitys on tällä hetkellä äärimmäisen tärkeää, sillä korjuun olosuhteet hankaloituvat kaiken aikaa ja huoli korjuujäljestä ja sen vaikutuksista metsän terveyteen on kasvanut. Runsaat ja pitkäaikaiset sateet, lauhat talvet ilman pakkasjaksojen routaannuttavaa vaikutusta lisäävät heikosti kantavien maapohjien osuutta; maaperän kantavuus ja kulkukelpoisuus heikenee ja riski korjuuvaurioille kasvaa (Kuva 12). Korjuun ajoittaminen sekä korjuukohteiden, kaluston ja varustelun valinnan merkitys korostuu entisestään. Tuotantolaitosten tarvitsema puumäärä on täytettävä kestävyysnormien mukaisesti siten, että korjuujälki hakkuukohteilla täyttää metsälain ja metsäsertifiointin ehdot. Tämä huoli on yhteisesti metsäteollisuuden, puunkorjuuyritysten, maanomistajien sekä meidän kaikkien; metsät ja metsäekosysteemit on säilyttävä elinvoimaisina ja metsäbiotalous on oltava kestävä. Siksi myös Luken tutkimustoiminnassa on nähtävissä tämän teema-alueen suuri merkitys.

Maakunnallisissa, kansallisissa ja EU-hankkeissa ja tutkimuskonsortioissa on tutkittu ja kehitetty uusia digitaalisia ratkaisuja ympäristöystävällisemmän puunkorjuun tarpeisiin. Hankkeissa on kerätty mm. puuttuvaa tietoa maakosteuden vaikutuksesta maan kantavuuteen ja raiteistumiseen erityisesti heikosti kantavilla maapohjilla, kuten turvemailla ja hienojakoisilla kivennäismailla. Sään, vesien pintavaluman ja pohjaveden kertymän dynaamista vaikutusta metsämaan kulkukelpoisuuteen on mallinnettu ja sen avulla on kehitetty säätiedolla ennustettavia kosteuskarttoja (Kuva 13). Tämän kehitystyön ohessa on validoitu jo avoimena kartta-aineistona tarjottujen staattisten kosteuskarttojen soveltuvuutta suomalaiseen puunkorjuuseen. Seurannan kattavuus, tarkkuus ja kustannustaloudellisuus ovat ajureita automaattisten kuvantamisteknologioiden ja konedatan hyödyntämisessä. Metsäkoneiden kuljettajien osaaminen korostuu suuresti ja kuljettajien toiminnan tueksi kehitetään parhaillaan puutavaran metsäkuljetuksen reititysohjelmaa, joka pitää sisällään korjuujälkeä vähentävät kuormaustavat ja ajoreitit polttoainetaloudellisen ja siten tuottavan ajon lisäksi.

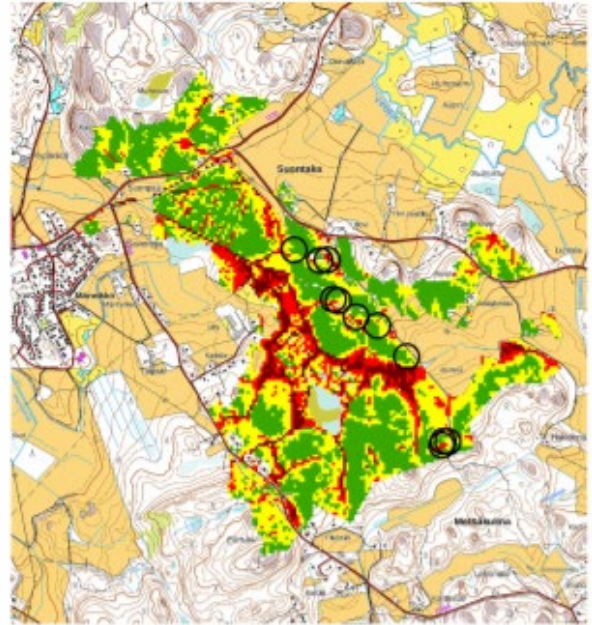


Kuva 12. Useissa eri hankkeissa (esim. Tech4effect, Efforte) kerättiin tietoa erilaisten teknologisten ratkaisujen, sekä maakosteuden vaikutuksesta maan kantavuuteen ja raiteistumiseen turvemailla. Kuvat: Johanna Routa, Luke.

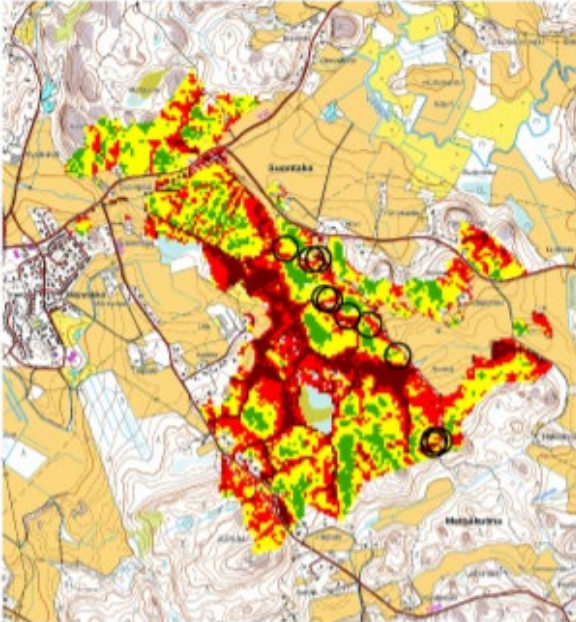
May 2016



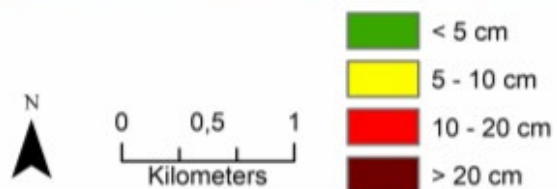
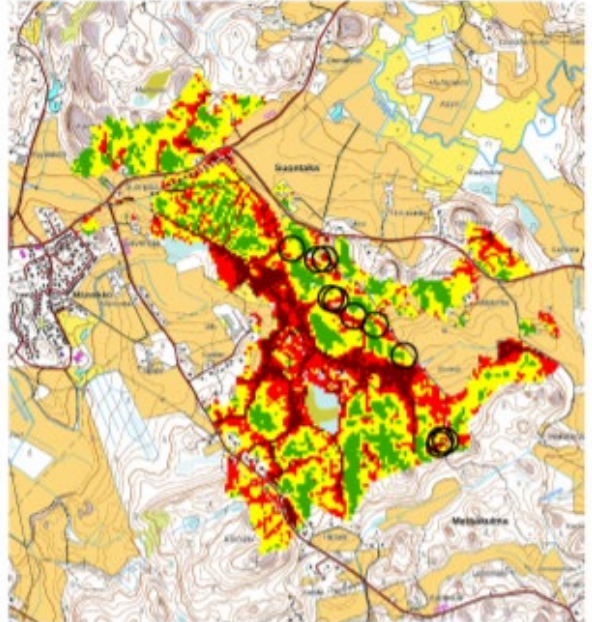
June 2016



Sep 2016



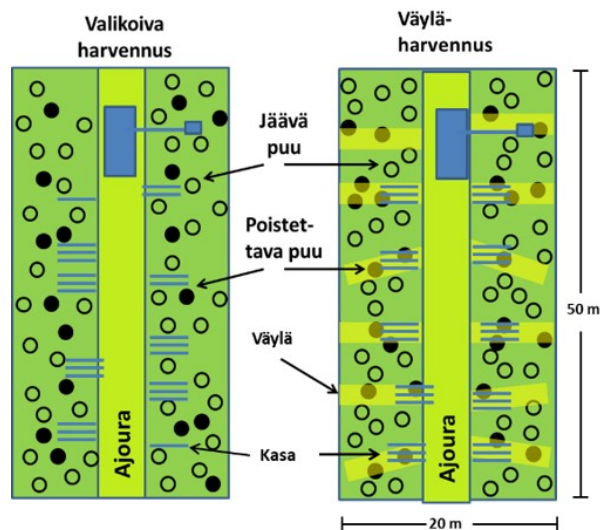
Nov 2016



Kuva 13. Esimerkki erittäin lupaavasta kehitystyöstä dynaamisten kulkukelpoisuuskarttojen osalta. Urapainumaennuste (luokat <5 cm – >20cm) erilaisissa kosteusoloissa (toukokuu; puolimärkä, kesäkuu; kuiva, syyskuu, märkä, marraskuu, puolimärkä).

Tietolaatikko 7: Väyläharvennus – työmenetelmä nuorten metsien koneelliseen kasvatushakkuuseen

Väyläharvennus on hakkuumenetelmä, jota voidaan käyttää metsän ensimmäisessä koneellisessa harvennuksessa. Väyläharvennuksen ydin on työskentelyväylä, jonka hakkuukone aukeaa ajouralta kasvatettava puusto huomioiden. Harvennus tapahtuu aina väylältä käsin toisin kuin perinteisessä valikoivassa harvennuksessa.



Väyläharvennus ja valikoiva harvennus.

Väyläharvennus oli 15–44 % nopeampi kuin valikoiva harvennus. Metsikössä 2 väyläharvennus onnistui ilman ennakkoraivausta, mikä tuo kustannussäästön ja säästää alikasvoksen jatkuvaan kasvatukseen.



Testimetsiköt.

Väyläharvennuksen jälkeen puusto oli tiheämpää kuin valikoivassa harvennuksessa mutta valtapuiden ($d_{1,3} > 14$ cm) määrä oli samalla tasolla. Kiertoajan hakkuukertymät olivat väyläharvennuksessa suuremmat kuin valikoivassa harvennuksessa, mutta tukkipuusaannoissa ei havaittu eroja. Väyläharvennus täytti Tapion metsänhoidon suositukset.

4.4. Tietoa biomassojen hankintamahdollisuuksista strategisen päätöksenteon tueksi

Biojalostamoiden ja energiantuotantolaitosten investointipäätöksissä raaka-aineen hankintaan liittyy monia kysymyksiä, joista biomassan saatavuus ja hankintakustannus laitoksen portilla ovat keskeisiä. Investoinnit ovat yleensä pitkäaikaisia, joten tekijöiden ajallinen vaihtelu on tarpeen selvittää. Metsähakkeen osalta kilpaileva käyttö hankinta-alueella on syytä tuntea. Biomassan hankintakohteet sijaitsevat hajallaan, minkä vuoksi logistiikan suunnittelu on erityisen tärkeää. Sanomattakin on selvää, että biomassan tulee olla taloudellisesti, ekologisesti ja sosiaalisesti kestävästi tuotettua. Tietoja biomassojen saatavuudesta ja käytön vaikutuksista muihin ekosysteempipalveluihin tarvitaan myös poliittiseen päätöksentekoon (Tietolaatikko 8).

Näihin tietotarpeisiin Luke on laskenut mm. metsähakkeen, oljen ja lannan teknisiä hankintamahdollisuuksia. Lähtötietoina on metsähakkeen osalta metsien hakkuumahdollisuusarviot, joista on laskettu, paljonko nuorten metsien harvennuspuuta sekä uudistushakkuiden latvusmassaa ja kantoja voitaisiin kestävästi hankkia korjuuohjeita noudattaen. Nämä tiedot on viety avoimeen Biomassa-atlas -palveluun, jossa käyttäjä voi tehdä alustavaa tarkastelua alueellisista hankintamahdollisuuksista (Kuva 14). Toiseen avoimeen palveluun – Forest Energy Atlakseen – on koottu energiapuun hankintamahdollisuusarviot Suomesta, Ruotsista, Virosta, Latviasta ja Liettuasta.

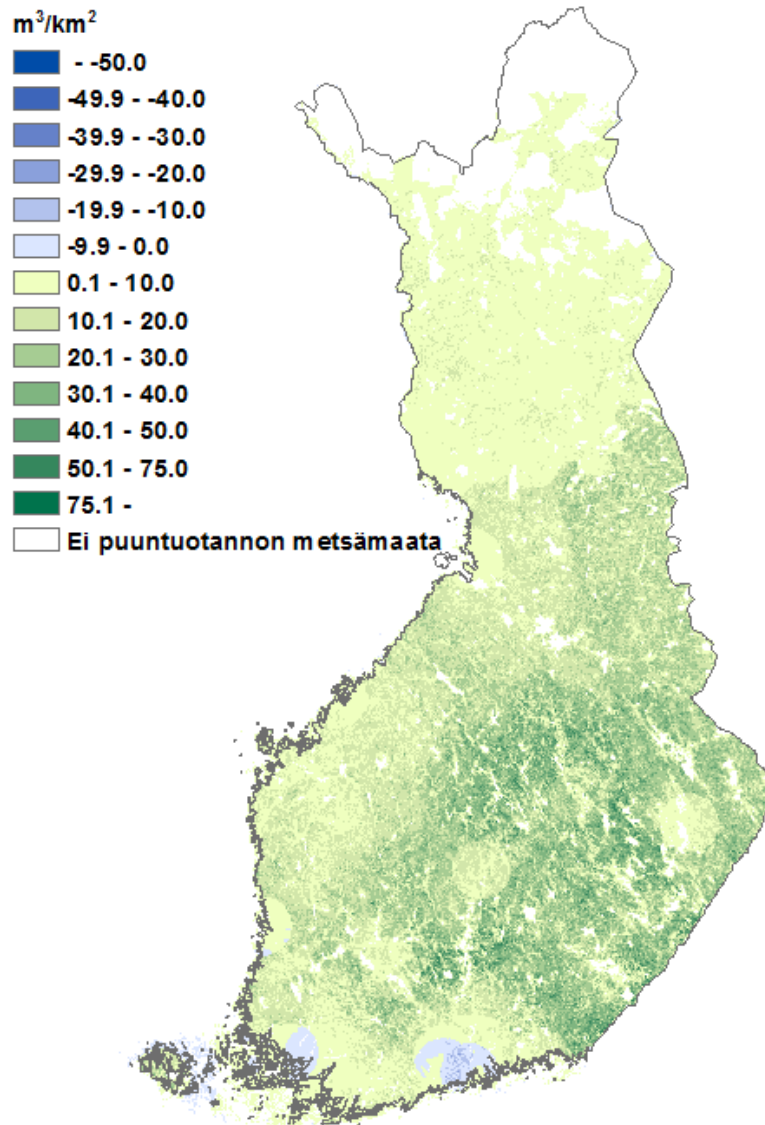
Pelkkä tekninen potentiaali ei varsinkaan metsähakkeen osalta ole riittävä, sillä kilpaileva käyttö voi vaikuttaa suunnitelmiin. Metsähakkeen hankintamahdollisuuksia on verrattu toteutuneeseen tai ennakoituun käyttöön kilpailun hahmottamiseksi. Ns. metsähaketaseessa karttamuo- toisesta potentiaalista on vähennetty käyttö, jolloin raaka-aineen saatavuuden kannalta vaikeimmat ja edullisimmat alueet paljastuvat. Tarkempia, kilpailun ja hankintakustannukset huomioivia projekteja onkin tehty metsä- ja energia-alan toimijoiden sekä alueellisten kehittämisorganisaatioiden kanssa. Metsähaketaseiden avulla on myös arvioitu energia- ja ilmastostrategian vaikutuksia.

4.5. Metsäenergia

Turpeen käytön väheneminen lisää kysyntää metsäenergialle. Energiapuun käytön lisääntyessä erilaisten hienonnettujen jakeiden kuljetus ja varastointi lisääntyvät. Energiapuun, hakkuutähteiden, kantomurskeen, metsähakkeen ja metsäteollisuuden sivuvirtojen, kuten kuoren ja purun varastointi on välttämätön osa toimitusketjua. Varastoinnin yhteydessä tapahtuva laadun aleneminen ja biologinen hajoaminen ovat ei-toivottuja ilmiöitä, joista aiheutuu taloudellisia menetyksiä ja turhia hiilipäästöjä ilmakehään (Kuvat 15 ja 16). Myös arvokkaiden uuteaineiden määrä vähenee merkittävästi varastoinnin aikana. Hyvällä varastoinnilla kuiva-ainetappioiden määrää voidaan vähentää merkittävästi ja biomassan polttoaineominaisuuksia voidaan hyvissä olosuhteissa parantaa. Energiapuun ominaisuuksien muutoksia, esim. kuivumista tienvarsivarastoissa voidaan ennustaa kuivumismalleilla, jotka perustuvat säädataan.

Luke on johtava organisaatio säädataan perustuvien kuivumismallien kehittämisessä ja mallit ovat käytössä mm. energiapuun mittauslaskurissa, joka on kehitetty uudistushakkuualoilta korjattavan latvusmassan kuormainvaakamittaukseen. Tuoretiheysluvun määrittämisessä ja mitaustuloksen laskennassa hyödynnetään nyt ensimmäistä kertaa ajantasaista tietoa korjuukohteen säästä. Tavoitteena Luken metsäenergian tutkimuksessa on varastojen parempi laadunhallinta, pienemmät varastotappiot ja pienemmät CO₂ -päästöt. Biomassojen kokonaisvaltaisen hyödyntäminen vaatii koko toimitusketjun tehostamista ja nopeuttamista niin, että

toimitusajat kannolta tehtaalle ovat mahdollisimman lyhyitä ja että biomassan hävikkiä pyritään välttämään myös kuljetuksen ja korjuun aikana.



Kuva 14. Latvusmassan hankintamahdollisuudet suhteessa toteutuneeseen käyttöön vuonna 2015.



Kuva 15. Hakkeen varastointiin liittyvien hävikkien ja varastoinnin biologisten prosessien ymmärtäminen on äärimmäisen tärkeää, jotta hankintaketjujen hävikkiä saadaan pienennettyä ja ilmastotehokkuutta parannettua. Kuva: Johanna Routa, Luke.



Kuva 16. HAIKU-hankkeessa monitoroidaan ja mallinnetaan hakekasan lämpenemisprosessi ja tutkitaan sen hyödyntämistä kasan kuivauksessa. Kuva: Essi Holopainen, Kuopion Energia.

Tietolaatikko 8: Metsämittari (<http://metsamittari.fi>)

Uusia tuotteita metsästä (UUTU) -hankkeessa kehitetyn Metsämittari-nettisovelluksen avulla voidaan tutkia metsien käytön vaikutuksia puuntuotantoon, monimuotoisuuteen ja ekosysteemipalveluihin aluetasolla. Siten Metsämittari edistää metsien monipuolista ja kestävä käyttöä ja soveltuu kestävä metsien käytön suunnittelun tueksi. Metsämittarin avulla voidaan visualisoida esimerkiksi MELA-ohjelmistolla tehtyjä laskelmia. Taustalla ovat 15 skenaariota määritettiin hankealueelle, eli Pohjois-Pohjanmaan ja Lapin maakuntien alueille. Skenaarioissa on peruslaskelmien lisäksi erilaisia hakkuista lisääviä ja vähentäviä laskelmia, joita tarkasteltiin 3 % ja 4 % korkokannoilla. Skenaarioiden vaikutukset ilmaistaan puuston kehitykseen, hakkuisiin, talouteen, monimuotoisuuteen ja hiileen liittyvien 38 muuttujan avulla. Muuttujien arvot esitetään suhteellisina lukuina, mikä mahdollistaa erimittallisten muuttujien vertaamisen metsänkäyttöskenaarioiden välillä.

Esimerkkilaskelma

Tarkastellaan kolmen vaihtoehdoisen skenaarion vaikutuksia puuntuotantoon ja talouteen, monimuotoisuuteen, keruutuotteisiin (marjasadot) ja puuston varastoon sekä hiilinieluun kolmena kymmenvuotiskautena. Korkokanta 4 %.

Hakkuiden lievä lisäys (vasemmanpuoleinen pylväs) eroaa melko vähän hakkuiden nykytasosta (keskimäinen pylväs).

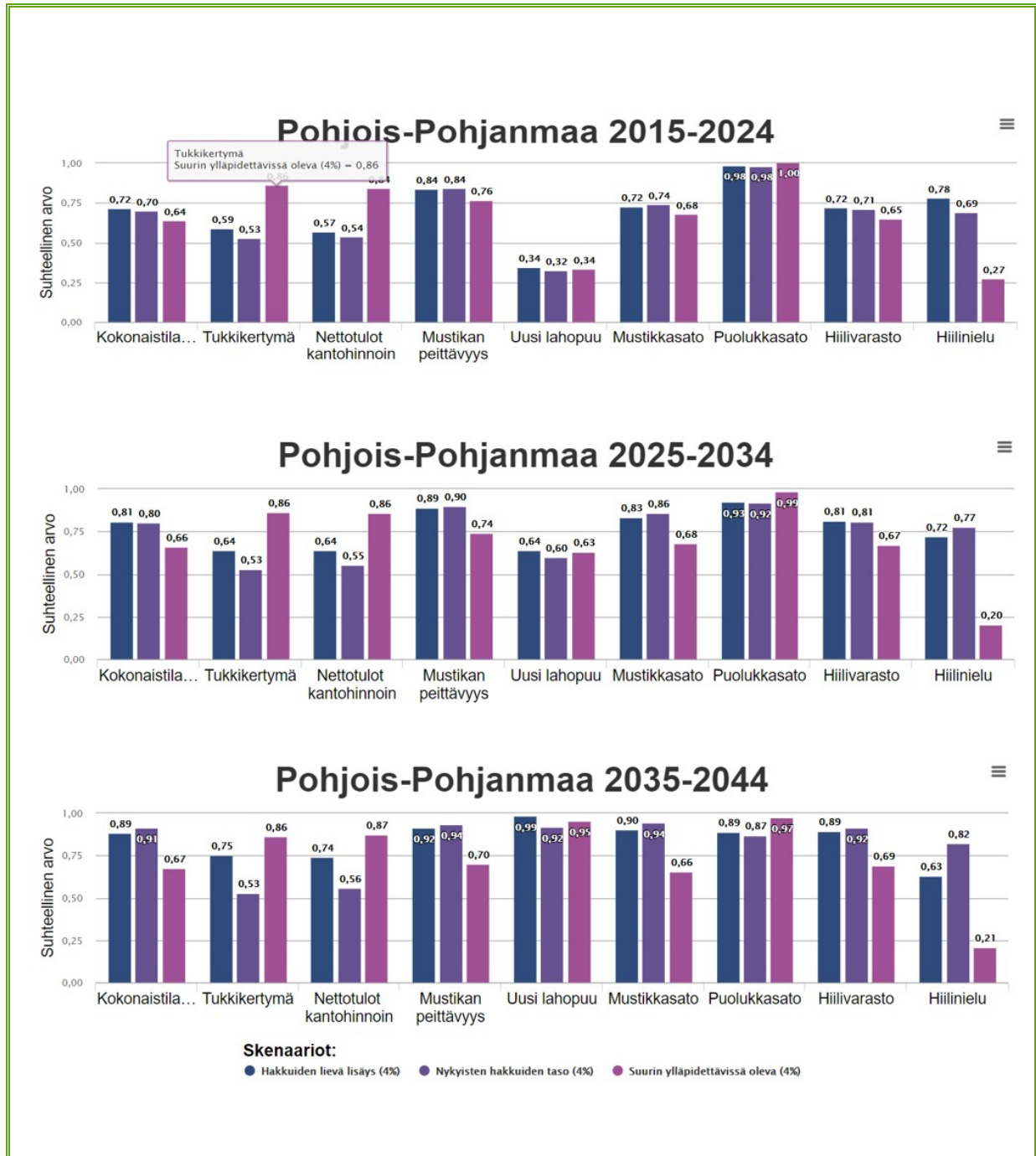
- Selkein ero on hiilinielussa, joka kolmannella kaudella on alentunut selvästi.

Suurin ylläpidettävissä oleva hakkuutaso (oikeanpuoleinen pylväs) aiheuttaa selkeitä muutoksia ekosysteemipalveluissa nykyisten hakkuiden tasoon verrattuna.

- Kokonaistilavuus laskee samalla kun tukkikertymä ja nettotulot kasvavat.
- Ajan myötä kokonaistilavuus kasvaa ja sen myötä myös hiilivarasto kasvaa.
- Mustikan peittävyys laskee, koska puolivarjossa viihtyvä mustikka kärsii uudistushakkuista ja niiden yhteydessä tehtävästä maanmuokkauksesta.
- Lahopuun osalta skenaarioiden välillä ei ole juuri eroa, koska aktiivisia lahoppuuhun liittyviä toimenpiteitä ei tehdä.
- Mustikkasato alenee mustikan peittävyyden laskiessa. Puolukkasato kasvaa, koska valoa tarvitseva puolukka ennen pitkää hyötyy hakkuista.
- Puuston hiilivaraston muutokset vastaavat puuston tilavuuden muutoksia. Hakkuiden kasvaessa hiilivarasto pienenee, mutta alkaa ajan myötä taas kasvaa.
- Puuston hiilinielu laskee nykykenaarioon verrattuna merkittävästi, koska hakkuiden seurauksena puuston määrä on vähentynyt.



Tietolaatikko 8 jatkuu:



Kirjallisuus

- Anttila, P., Nivala, V., Salminen, O., Hurskainen, M., Kärki, J., Lindroos, T. J. & Asikainen, A. 2018. Regional balance of forest chip supply and demand in Finland in 2030. *Silva Fennica* 52(2): 1–20.
- Arnold, F. Su M., Myat, K., Thinn, T., Nay, L., Mahmood, A., Htut, P., Gamarra, J., Hyvönen, P., Korhonen, K. T., Balázs, A., Heikkinen, J., Alm, J. & Wynn, K.Z. 2019. A Framework for New National Forest Inventory in Myanmar: Improving National Measuring and Reporting Capacities for REDD+ and Beyond. *The Indian Forester* 145: 9.

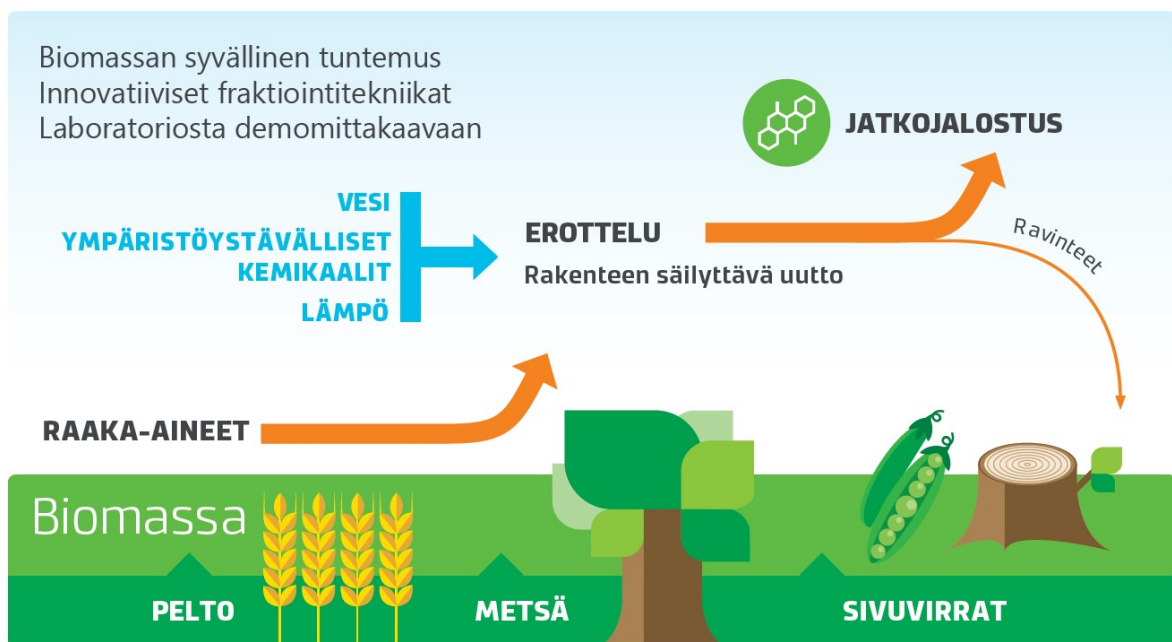
- Hirvelä, H., Härkönen, K., Lempinen, R. & Salminen, O. 2017. MELA2016 Reference Manual. Natural resources and bioeconomy studies 7/2017. 547 p. ISBN 978-952-326-1 (Online). ISSN 2342-7639 (Online). <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-358-1>
- Hyvönen, P., Lempinen, R., Lappi, J., Laitila, J. & Packalen, T. 2020. Joining up optimisation of wood supply chains with forest management: a case study of North Karelia in Finland, *Forestry: An International Journal of Forest Research*, 93: 163–177. <https://doi.org/10.1093/forestry/cpz058>
- Kangas, A., Packalen T. & Mäkipää, R. 2020. Kestävän metsätalouden jäljillä: voiko kestävyys määritellä. Blogiartikkeli 11.2.2020 [viitattu 20.11.2020]. Saantitapa: <https://www.luke.fi/blogi/kestavan-metsatalouden-jaljilla-voiko-kestavyyden-maaritella/>
- Kärkkäinen, L., Haakana, H., Hirvelä, H., Lempinen, R. & Packalen, T. 2020. Assessing the Impacts of Land-Use Zoning Decisions on the Supply of Forest Ecosystem Services. *Forests* 11(9): 931. <https://doi.org/10.3390/f11090931>
- Laitila, J., Lehtonen, E., Ranta, T., Anttila, P., Rasi, S. & Asikainen, A. 2016. Procurement costs of cereal straw and forest chips for biorefining in South-East Finland. *Silva Fennica* 50(5): 21 p.
- Luke 2020. VMiKaaVa Tulospalvelu [viitattu 20.11.2020]. Saantitapa: <http://vmikaava.luke.fi/>
- MELA Tulospalvelu, VMI12 (mittausvuodet 2014–2018) [viitattu 20.11.2020]. Saantitapa: <http://www.luke.fi/mela-metsalaskelmat/>
- Nuutinen, Y., Saksa T. & Saarinen, V-M. 2020. Harvennustavan vaikutus koneellisen hakkuun tehokkuuteen, harvennuskertymään ja kasvatettavaan puustoon nuorissa metsissä: kirjallisuuskatsaus. *Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus* 61/2020. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 26 s.
- Nuutinen, Y., Miina J., Saksa T., Bergström D. & Routa, J. 2020. Comparing the characteristics of boom-corridor and selective thinned stands of Scots pine and birch. Manuscript, submitted to *Silva Fennica*.
- Routa, J., Brännström, H., Hellström, J. & Laitila, J. 2020 Influence of storage on the physical and chemical properties of Scots pine bark. *Bioenergy Research*. <https://link.springer.com/article/10.1007/s12155-020-10206-8>
- Routa, J., Kolström, M. & Sikanen, L. 2018. Dry matter losses and their economic significance in forest energy procurement. *International Journal of Forest Engineering* 29: 53–62. <https://doi.org/10.1080/14942119.2018.1421332>
- Salmivaara, A., Launiainen, S., Perttunen, J., Nevalainen, P., Pohjankukka, J., Ala-Ilomäki, J., Sirén, M., Laurén, A., Tuominen, S., Uusitalo, J., Pahikkala, Y., Heikkonen, J. & Finér, L. 2020. Towards dynamic forest trafficability prediction using open spatial data, hydrological modelling and sensor technology, *Forestry: An International Journal of Forest Research*, 93: 662–674. <https://doi.org/10.1093/forestry/cpaa010>
- Vauhkonen, J., Berger, A., Gschwantner, T. et al. 2019 Harmonised projections of future forest resources in Europe. *Annals of Forest Science* 76, 79. <https://doi.org/10.1007/s13595-019-0863-6>

5. Metsän tuotteet ja biojalostamo – kohti biokiertoa

Pekka Saranpää, Hanna Brännström, Ganeas Dorairaju, Henrik Heräjärvi, Marja Jallinoja, Tuula Jyske, Eila Järvenpää, Annika Kangas, Harri Kilpeläinen, Petri Kilpeläinen, Kari Korhonen, Risto Korpinen, Susan Kunnas, Mikko Kurttila, Jari Lindblad, Katja Lähtinen, Riina Muilu-Mäkelä, Harri Mäkinen, Veikko Möttönen, Rainer Peltola, Timo Pitkänen, Kimmo Rasa, Saija Rasi, Tarmo Rätty, Petri Seppälä, Henri Vanhanen, Martti Venäläinen, Erkki Verkasalo

Aihepiirin tutkimus painottui nykyisiin metsäbiomassaan perustuviin tuotteisiin, kuten puutuo- tealaan ja puun käyttöön rakentamisessa, mutta myös biomassan kokonaisvaltaiseen hyödyntä- miseen tulevaisuuden biojalostuksessa. Tutkimus on monitieteistä ja yhteistyötä tehdään Lukessa mm. biomass- ja elintarvikekemistien ja talous-, kestävyys- ja viheralan tutkijoiden kanssa. Yh- teistyöpartnereita on myös luovan osaamisen alalta, niin muotoilun kuin viestinnän ammattilai- sia. Tavoitteena on edistää biokiertoa: uusiin biomassoihin ja luonnontuotteisiin perustu- via innovaatioita ja saada loppukäyttäjät hyväksymään ne. Lisäksi tutkitaan mahdollisuuksia te- hostaa raaka-aineiden kaskadikäyttöä ja kierrätystä (Kuva 17). Tutkimuksen kohteina on ollut mm. mahdollisuudet hyödyntää uudenlaisia uuttomenetelmiä biomassan fraktiointiin sekä nii- den optimointiin. Pyrkimyksenä on soveltaa mahdollisimman vähän ympäristöä kuormittavia uutto- ja erottelutekniikoita, hyödyntää bioaktiivisia yhdisteitä sellaisina kuin ne ovat ja palaut- taa ravinteet kiertoon.

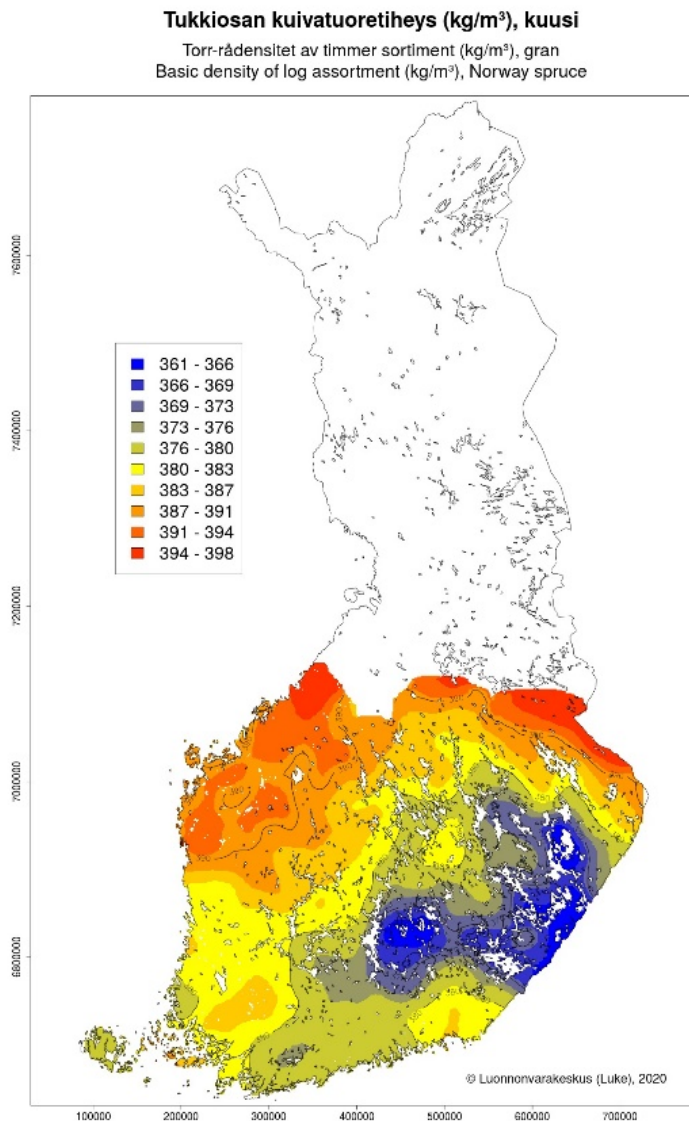
Uusiutuvia raaka-aineita metsästä ja pellolta



Kuva 17. Tavoitteena on biomassojen kaskadikäyttö ja innovatiivisten erotustekniikoiden kehittäminen.

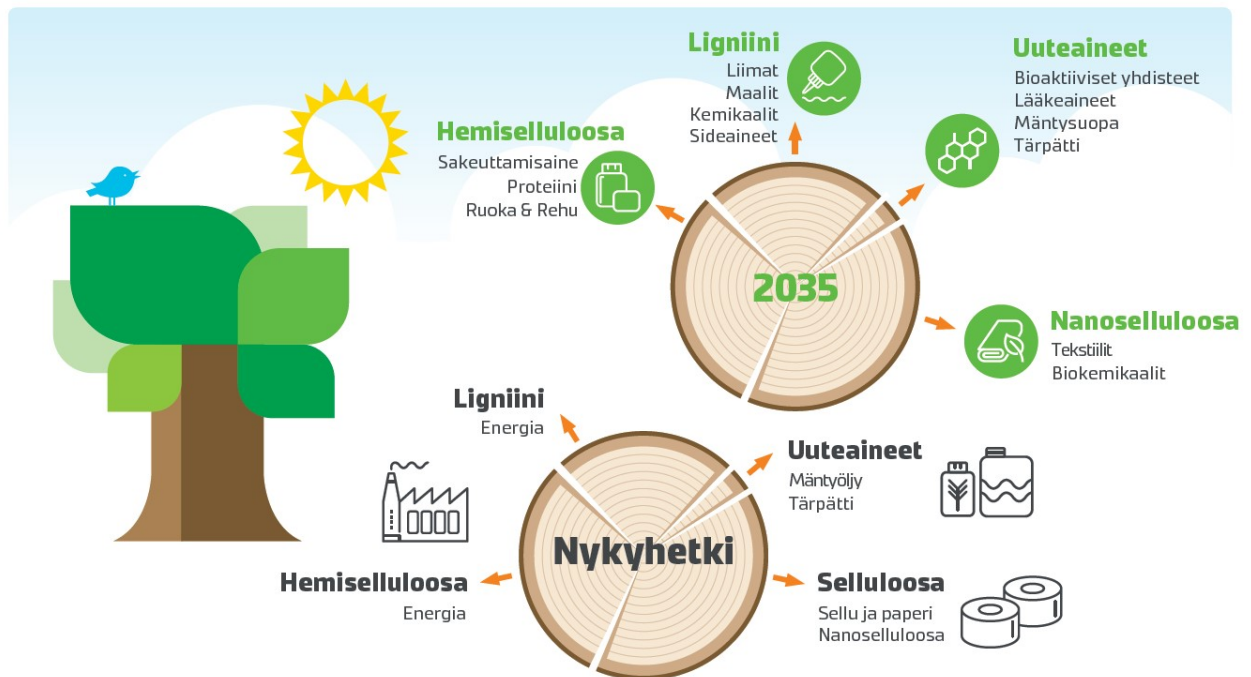
5.1. Metsäinfon uusi palvelu kertoo puun ominaisuudet

VMI Puuhaku on metsäinfo-sivustolla julkaistu uusi verkkopalvelu, joka tuo puun ominaisuudet Suomen kartalle ja kaikkien saataville. Palvelun avulla käyttäjä voi hakea haluamilleen puujoukoille paikkaan sidottua tietoa puuaineen, puun ja puutavaran ominaisuuksista, esimerkiksi läpimitasta, pituudesta, tilavuudesta sekä tietoa biomassasta (Kuva 18). Palvelussa on myös karttoja puun, puuaineen ja puutavaran ominaisuuksien vaihtelusta Suomessa.



Kuva 18. Tulostuskuva VMI Puuhaku-palvelusta (<https://metsainfo.luke.fi/fi/vmi-puuhaku>)

Kiertotalousratkaisuja

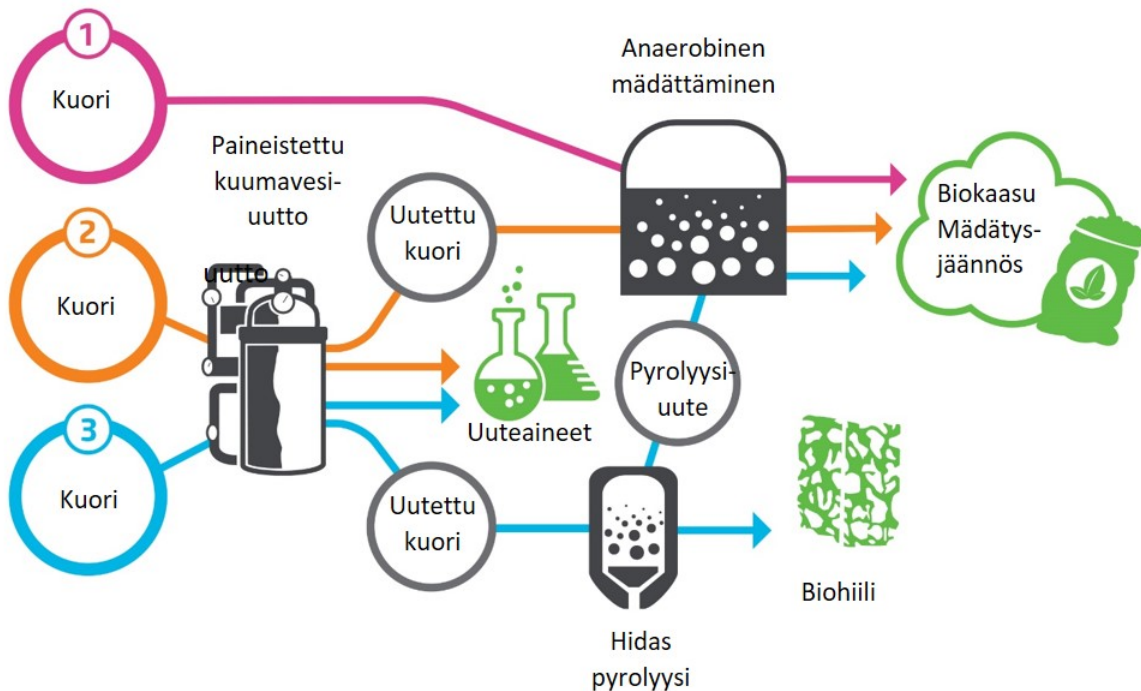


Kuva 19. Tulevaisuudessa pyritään hyödyntämään koko puubiomassa erilaisissa tuotteissa.

Tutkimus tähtää puun kokonaisvaltaiseen hyödyntämiseen tulevaisuudessa. Tällä hetkellä sellun valmistuksessa suurin osa biomassasta käytetään energian tuotantoon. Tulevaisuudessa voidaan esim. hemiselluloosa hyödyntää sakeuttamisaineena ruuassa. Hemiselluloosan ja ligniinin hyödyntäminen edellyttää kuitenkin uutto- ja erottelutekniikoiden kehittämistä. Tutkimuksen kohteena on eri kasvien ligniinin biosynteesi ja ominaisuudet. Ligniiniä voitaisiin hyödyntää puunsuojauksessa ja pintakäsittelyissä (Kuva 19).

5.2. Kuoribiojalostamo – luonnonyhdisteiden aarreaitta

Kuoren koko arvoketju on ollut tutkimuksen kohteena monissa projekteissa: varastointi, uutto, eri loppukäyttökohteet sekä kokonaisvaltainen käyttö (Kuva 20). Projektit ovat olleet tiivistä yhteistyötä sekä yritysten että ulkomaisten tutkimuspartnerien kanssa. Havupuiden kuoren arvoyhdisteet voidaan uuttaa kuoresta käyttämällä kuumaa vettä, hyödyntämällä uutossa kemikaalisäystä tai orgaanisia liuottimia. Ympäristöystävällisellä kuumavesiuutolla voidaan erottaa arvokkaat fenoliset yhdisteet. Uute on seos polyfenoleita ja sokereita, joita voidaan puhdistaa edelleen erottaakseen ne toisistaan. Elinkaarianalyysin mukaan uutteen väkeväinti ja puhdistus on runsaasti ympäristöä kuormittava vaihe, joten puhdistustarve kannattaa harkita sovelluksen vaatimusten mukaan. Kaskadiprosessilla uutosta jäävä kuori voidaan hyödyntää kokonaisvaltaisesti esimerkiksi biohiilenä tai biokaasuna. Koivun kuoresta voidaan hyödyntää suberiinia ja betuliinia erilaisten pinnoitteiden kehittämiseen, ja myös haavan kuoren arvojakeet on kartoitettu.



Kuva 20. Kokonaisvaltainen kuoren hyödyntäminen. Kuoresta hyödynnetään tanniinit liimoihin ja fenoliset uuteaineet suoja-aineena kosmetiikkaan sekä elintarvikkeisiin. Jäljelle jäänyt biomassa käytetään hyväksi biokaasun ja biohiilen tuotannossa.

5.3. Kerkkä ja pakuri – luonnontuoteala monipuolistajana

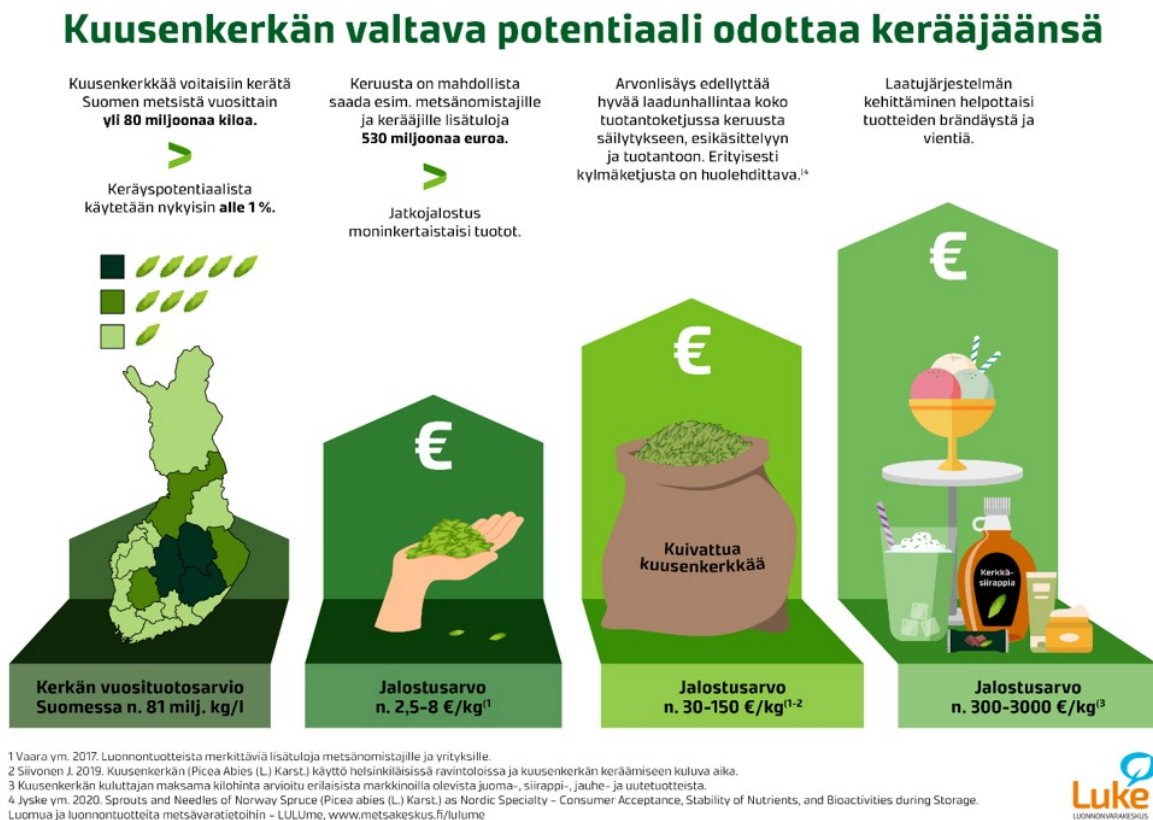
Vaikka luonnontuotteiden hyödyntäminen on lisääntynyt ja monipuolistunut, ovat ne edelleen Suomen metsien alihyödynnetty resurssi. Alan liikevaihto on kuitenkin ollut hyvässä kasvussa. Vuonna 2017 alan liikevaihto oli 530 M€, ja alalla toimi 760 yritystä. Alan liikevaihdon kasvu nojaa vahvasti perinteisten luonnontuotteiden (marjat ja sienet) viennin kasvuun, josta huomattava osa muodostuu Kiinan kaupan kasvusta. Ala on myös haavoittuvainen: satokausien välinen vaihtelu on hyvin suurta. Perinteisten tuotteiden lisäksi tuotevalikoima on kuitenkin monipuolistumassa, ja se tarjoaa uusia liiketoimintamahdollisuuksia.

Raaka-aineen saatavuus on pitkään tunnistettu alan kasvun esteeksi. Saatavuutta voidaan parantaa monin tavoin. Suomen luonnosta löytyy myös raaka-aineita, joiden sato on varma, eli niitä on saatavilla runsaasti joka vuosi. Näiden varaan liiketoiminnan rakentaminen on varmempaa, joskin niihin voi liittyä keruu- ja logistiikkahaasteita.

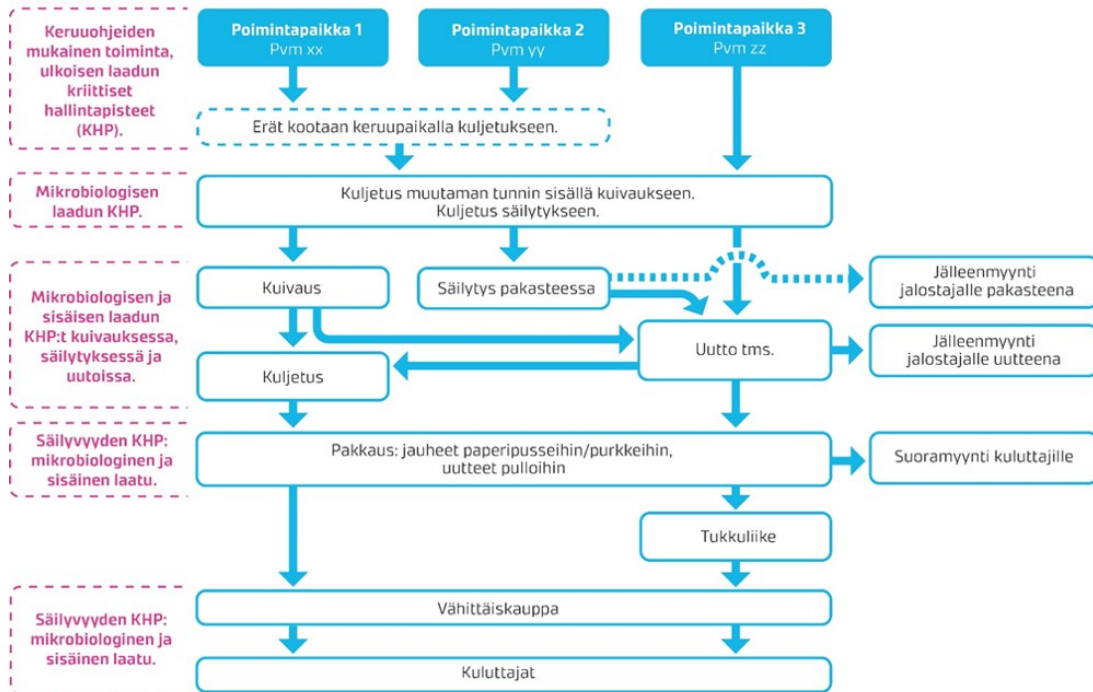
Suomessa on 37 syötäväksi kelpaavaa marjalajia, joista hyödynnetään 16 lajia. Luonnonmarjojen vuosittainen biologinen sato on 500–1 000 miljoonaa kiloa. Suosituimmat marjat ovat mustikka, puolukka ja suomenmuurain. Marjoja poimitaan keskimäärin 55 miljoonaa kiloa vuodessa, alle 10 % kokonaissadosta. Luonnonmarjojen merkittävin ja eniten kasvupotentiaalia tarjoava käyttökohde on terveys- ja hyvinvointituotteiden nk. premiumsegmentti. Näissä tuotteissa myös alkuperällä on merkitystä. Esimerkkinä mainittakoon mustikkauute, jonka hinta Japanin markkinoilla on 60 % korkeampi silloin, kun raaka-aine on pohjoismaista alkuperää kiinalaiseen raaka-aineeseen verrattuna. Pohjoismaista luonnonmarjaa hyödyntävät yritykset sitovat tuotebrändinsä terveellisuuden ja ainutlaatuisen alkuperän mielikuviin. Tutkimuksella on ollut tärkeä rooli brändityölle. Tutkimus – jopa perustutkimus – voi myös suoraan vaikuttaa tuotteiden

kysyntään. Hyvien satoalueiden ennakointiin ja paikallistamiseen tähtäävä tutkimus on suhteellisen pitkällä. Tutkimustulosten käytäntöön vieminen tulisi olla seuraava askel tuotekehitystyössä.

Luonnontuotealan kehityksen edellytyksenä raaka-aineen saatavuuden lisäksi on luonnontuotteiden laatu. Luonnontuotealalla ei ole vielä kattavia laatunormistoja raaka-aineille ja niiden jalostukselle. Luonnon raaka-aineiden, niin villien kuin viljeltyjen, kirjo on laaja marjoista, sienistä ja mahlasta yrtteihin ja erikoiskasveihin. Lisäksi lainsäädäntö ja suositukset ohjaavat toimintaa raaka-ainekohtaisesti käyttötarkoituksen mukaan. Laatutietouden ja kohdistetun tiedon ohjaaminen yrityksiin on erittäin tärkeää. Suomen Akatemian rahoittamassa InnoTrea ”Boosting the use of high-value substances from trees: innovating treatment techniques for improved usability in products” ja Euroopan aluekehitysrahoituksen rahoittamassa ”Laatusormenjälki arktiselle luonnonraaka-aineelle (Arctic FingerPrint)” hankkeissa on tuotettu tietoa tuotantoprosessin kriittisistä laadunhallintapisteistä (KHP) ja eri käsittelymenetelmien vaikutuksista kuusenkerkän laatuominaisuuksiin luonnontuotealan yritysten näkökulmasta.



Kuva 21. Kuusen kerkän hyödyntämismahdollisuudet.



Kuva 22. Esimerkki luonnonraaka-aineen prosessikaaviosta, jossa on otettu huomioon kriittiset hallintapisteet (KHP) laadun suhteen.

5.4. HerääPahvi! – Nyt loppui ininä



Monitieteisessä yhteistyössä ovat olleet mukana myös luovan alan osaajat. Loppukäyttäjille ja kuluttajille on laadittu kiertotaloustarinoita uusien innovaatioiden vauhdittamiseksi. Luken, Lapin yliopiston ja Lapin ammattikorkeakoulun yhteisessä Euroopan aluekehitysrahaston (EAKR) rahoittamassa Future Bio-Arctic Design (F.BAD) -hankkeessa etsitään arktisille raaka-aineille uusia käyttötarkoituksia. Tiedettä ja taidetta yhdistävässä monialaisessa työryhmässä työskentelevät rinnakkain tekstiili- ja vaatetusalan taiteilijat ja tutkijat, agrologit, kemistit ja materiaali-tekniikan insinöörit. Tavoitteena on ollut löytää pohjoisesta luonnosta kasveja, joista saatavat yhdisteet voisivat korvata nykyisin tekstiilien homeenesto-, hyönteiskarkote- ja UV-suojauksikäsitteilyssä käytetyt haitalliset ja vaaralliset kemikaalit. Lähtökohtina hankkeessa on ollut kaksi isoa vastakohtaa; tekstiiliteollisuuden hiilijalanjälki ja viimeistyskäsittelyjen haitalliset kemikaalit, sekä toisaalta pohjoisten luonnonmateriaalien puhtaus ja mielenkiintoisia ominaisuuksia sisältävät kasvien kemialliset yhdisteryhmät. Hankkeen tuloksia tähän mennessä ovat mm. suopursun, pietaryrtin ja väinönputken eteeristen öljyjen ja ylikriittisellä hiilidioksidilla uutettujen uutteen todennetut vaikutukset tiettyjä hiivoja, homeita ja bakteereja vastaan. Lisäksi uutteen ja öljyjen analyyysien perusteella ne sisältävät yhdisteitä, jotka voivat karkottaa hyönteisiä. Seuraavassa vaiheessa öljyt mikrokapseloidaan ja kiinnitetään tekstiileihin.

HerääPahvi! -projekti on Tampereen ammattikorkeakoulun, Luonnonvarakeskuksen ja Design Forum Finlandin Euroopan sosiaalirahaston rahoittama yhteishanke, joka yhdistää luovien alojen osaamista bio- ja kiertotalouteen ja niiden uusimpiin innovaatioihin. Projektin tuloksena tehtiin pakkauspaperia, joka sisältää 20 % jauhettua viljan kuorta. Siitä valmistettiin edelleen erilaisia prototyyppejä, jotka saivat innostuneen vastaanoton erilaisissa työpajoissa ja näyttelyissä.



Kuva 23. HerääPahvi! -projektissa on tehty leipäpusseja paperista, joka sisältää 20 % jauhettua kauran kuorta ja valukartonkipakkauksia massasta, jossa 20 % kuiduista on peräisin tomaatin varsista. Molemmat ratkaisut ovat esimerkkejä biomassan kaskadikäytöstä (<https://www.heraa-pahvi.com/>). Kuvat: Ilmari Huttu-Hiltunen ja Antti Haapio TAMK.

5.5. Kestävä puurakentaminen ja puutuotealan kehittäminen

Puurakentamisen ja puutuotealan projekteissa on tarkasteltu puutuotteiden laatua, kilpailukykyä ja tarjontaa, puurakentamisen toimitusketjuja, yhteistyö- ja arvoverkkoja ja liiketoimintamalleja, kuten myös roolia osana biokiertoaloutta ja ilmastokeskustelua (Tietolaatikko 9). Tutkimus- ja kehittämistyö nojautuu kestävyyden eri osatekijöihin, joihin liittyen puu tarjoaa runsaasti erilaisia hyötyvaikutuksia (Kuva 24). Rakentamisen arvoketjuissa on niin ikään paljon toimijoita, joilla on erilaisia näkemyksiä ja odotuksia otettavaksi huomioon rakennusmateriaalin ja rakentamistavan valinnassa ja muussa päätöksenteossa.

Metsien ja paikallisen raaka-aineen käytön perinteet vaikuttavat myönteisesti suomalaisten näkemyksiin puurakentamisen hyväksyttävyydestä ja tulevaisuuden mahdollisuuksista. Elämäntavoiltaan erilaiset asukkaat voivat suosia puukerrostaloasumista, jos puu teknologisilta tai muilta laatuominaisuuksiltaan vastaa heidän odotuksiaan laadukkaasta asumisesta.

Teollinen puurakentaminen mahdollistaa rakentamisen prosessien resurssitehokkuuden parantamisen ja edistää rakennussektorin uusiutumista. Uusilla käyttäjälähtöisillä suunnittelu- ja toteutusratkaisulla voidaan nostaa puurakentamisen asiakasarvoa sekä asumisen että julkisen rakentamisen kohteissa ja vahvistaa kilpailukykyä biokiertoaloudessa. Erityisesti puukerrostalo tuotannossa osaamis pääoma, arvonluonti ja kilpailukyky paranevat integroitumalla liiketoimintaekosysteemeihin rakentamisen markkinoilla.

Puurakentamisen arvoverkkojen ja liiketoimintamallien tutkimusta jatketaan kotimaisissa rakennuskohteissa. Euroopan tasolla tarkastellaan esimerkkejä maaseudun tuotannon ja kaupunkien kulutuksen taloudellisista kytköksistä kolmessa maassa. Pohjois-Karjalan maakunnan näkökulmasta on analysoitu Kiina-yhteistyön mahdollisuuksia puutuotealan kehittämisessä ja tutkimusta suunnataan jatkossa puurakentamiseen liittyviin vientimahdollisuuksiin eri maihin. Uutena tutkimusteemana selvitetään puu- ja viherrakentamisen integroinnin mahdollisuuksia tuottaa liiketoimintayhteistyötä ja -hyötyjä yrityksille, vaihtoehtoja kaupunkisuunnittelijoille ja rakennuttajille sekä vetovoimaa ja hyvinvointia asukkaille ja palvelurakennusten käyttäjille. Tähän liittyy kaupunkipuustojen ekosysteemipalveluiden tutkimus.

Puumateriaalitutkimusten tavoitteena on ollut parantaa puutuotteiden pitkäaikaiskestävyyttä, tehostaa raaka-aineen käyttöä ja luoda lisäarvoa arvoketjulle. Puun modifiointi lämpökäsittelyllä, mäntyöljyllä tai termo-mekaanisesti eli yhdistämällä lämpö- ja puristuskäsittely parantavat puutuotteiden säänkestoa, biologista kestävyyttä ja mitta- ja muotopysyvyyttä. Männyn ja lehtikuusen sydänpuun lahonkesto liittyy olennaisesti uuteaineiden koostumukseen. Sydänpuun stilbeenien mittausta on kehitetty kohti kaupallisia sovelluksia. Puun raaka-aine- ja tuoteominaisuuksia sekä modifioinnin mahdollisuuksia on tutkittu kotimaisten puulajien lisäksi Mosambikin ja Vietnamin puulajeilla. Puun terveys- ja hyvinvointivaikutukset ovat herättäneet runsaasti mielenkiintoa. Ympäristöministeriön Kasvua ja kehitystä -ohjelmassa on todennettu mm. puun ja puumateriaalien haihtuvia orgaanisia yhdisteitä ja niiden vaikutuksia sisäilman laatuun, puun psyko-fysiologia vaikutuksia, antimikrobisuutta ja loppukäyttäjien puumateriaalimieltymyksiä. Tutkimuksia varten on avattu uudet testausympäristöt kolmella paikkakunnalla.

Suomessa on kolmessa alueellisessa projektissa selvitetty puualan yritysten sivuvirrat ja niiden käyttö ja tehty kehittämis ehdotukset kaskadi- ja bioenergiakäytöstä. Eniten mielenkiintoa on ilmennyt ja mahdollisuuksia tarjolla sahanpurun hyödyntämiseen liikenteen polttonesteissä ja biojalostuksen lisäarvotuotteissa samoin kuin kuoren ohjaamiseen kiinteiden polttoaineiden ohella biokaasun ja biohiilen valmistukseen. Sahatavaran ja puulevyjen jatkojalostuksessa ja puuelementtien valmistuksessa syntyy hukkapaloja, joille on ideoitu uusia käyttömahdollisuuksia sisustustuotteiden, ulkokalusteiden ja raskaiden kuormien kuljetusalustojen valmistuksessa.

Kansallisella tasolla on myös kartoitettu teollisia ekosysteemejä ja niiden sovellusmahdollisuuksia ja tehty selvitys puulevyteollisuuden lisäämisen mahdollisuuksista. Esimerkkeinä puualan toimivista ekosysteemeistä ovat sahateollisuuden, jatkojalostajien ja rakennuskomponenttien ja -elementtien valmistajien muodostamat teollisuuspuistot kuten myös puutuotealan monituoteyritykset ja niiden partnerit, jotka valmistavat samalla alueella esimerkiksi sahatavaraa, puulevyjä, rakennustuotteita ja puutaloja. Kummassakin tapauksessa päätuotteiden valmistukseen on integroitu sivutuotteiden ohjaus energiakäyttöön ja joissakin piloteissa biojalostuksen lisäarvotuotteiden raaka-aineiden valmistukseen.

Eurooppalaisessa yhteisprojektissa on tehty laaja analyysi puuteollisuuden sivutuotteiden hyödyntämisen ja puurakennusten rakennus- ja purkujätteiden käsittelyn hyvien käytäntöjen arvioimiseksi ja niiden siirtämiseksi yli rajojen. Projektissa laaditaan ehdotukset politiikka- ja kehittämistoimenpiteiksi puurakentamisen kiertotalouden edistämiseksi ja viestitään ne elinkeinoelämälle ja julkisille päättäjille EU:n komissiossa ja kohdemaissa. Sääntelyjärjestelmien eurooppalaisessa harmonisoinnissa on todettu tarpeelliseksi kunnioittaa kansallisia erityispiirteitä, jotka johtuvat yhteiskunnan ja elinkeinoelämän erilaisesta rakenteesta ja kehitystasesta. Tärkeitä kehitystavoitteita ovat suljetut kierrot ja jätteiden minimointi, tuotteiden uusiokäyttö täydentämään materiaalien kierrätystä kuten myös toimintatapojen ja tuotteiden ekologinen suunnittelu.



Kuva 24. Puurakentamisen ja puutuotteiden käytön toimintaympäristö ja viitekehys kestävyystavoitteiden osatekijät huomioon ottaen: tärkeimmät tietotarpeet ja hyödyt yhteiskunnalle, elinkeinoelämälle ja kansalaisille.

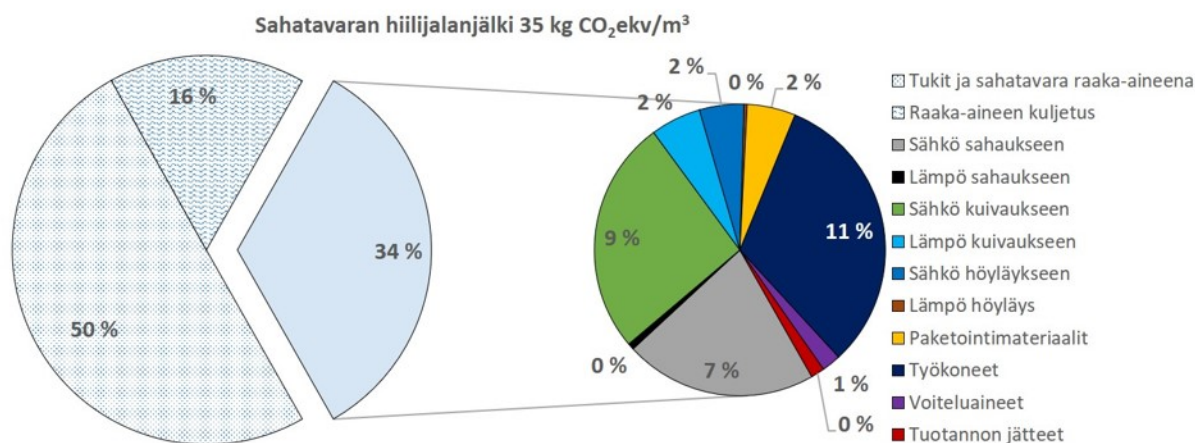
Tietolaatikko 9: Puutuotteiden hiilineutraalius

Luonnonvarakeskus on inventoinut puun sahauksen ja jalostuksen elinkaarisia ympäristövaikutuksia ja kehittänyt samalla metsänhoidon ja puunhankinnan inventaareja. Tuloksena on ollut asiakkaiden kanssa laadittuja ympäristöselosteita (EPD) vuosina 2018–2020: havupuusahatavara, lamellihirsirakenteelle ja lämpökäsittelylle puulle. Ympäristövaikutuksia on laskettu myös puu-muovi -komposiiteille, kuoren ja sahanpurun pilot-uutoille ja uuttojakeiden jatkojalostukselle, orgaanisille metsänlannoitteille ja metsäkoneiden huoltoketjulle.

Keväällä 2020 tehtyjen sahateollisuuden hiilitiekartta inventaarien ja vaikutusarviointien perusteella sahatavaran hiilijalanjäljestä noin puolet syntyy metsänkasvatuksessa ja puunhankinnassa, sahoilla noin kolmannes. Suurimmat päästölähteet sahoilla ovat verkkosähkö ja työkoneiden käyttämä dieselpolttoaine.

http://www.sahateollisuus.com/wp-content/uploads/2020/06/st_hiilikartta_raportti.pdf

Hiilitiekarttamallin mukaisesti sahoilla syntyvää hiilijalanjälkeä voidaan pienentää noin 80 % vuoteen 2035 mennessä. Tähän tarvittaisiin verkkosähkön hiilijalanjäljen alentaminen, fossiilisten polttoaineiden käytön lopettaminen lämmöntuotannossa sekä työkoneiden muuttaminen sähkö- tai biodieselpolttoaineiksi.



Puunhankinnan suuri osuus hiilijalanjäljestä Sahateollisuuden hiilitiekartassa herätti kysymyksiä yleisesti käytettävien LCA-tietokantatietojen soveltuvuudesta suomalaisen metsätalouden ympäristövaikutusten kuvaamiseen. Luken asiantuntijatietoon perustuvat uudet inventaarit ja laajempi otos sahoja laskivat metsänkasvatuksen osuuden sahatavaran hiilijalanjäljestä noin kolmannekseen, ja sahatavarakuution hiilijalanjälki tehtaantasolle 29 kg CO₂ ekv m⁻³. Täten edellä esitetyillä toimenpiteillä voitaisiin saavuttaa suhteellisesti suurempikin vähennys sahojen hiilijalanjäljessä. Uudelleen laskettu hiilijalanjälki on myös yli 20 kg CO₂ ekv m⁻³ pienempi kuin sahatavara EN 15804 aikaisemmin ilmoitettu. Uutta tietoa tullaan käyttämään pohjatietona ympäristöministeriön vähähiilisen rakentamisen säädösohjausta kehitettäessä.

Kirjallisuus

- Carlqvist, K., Arshadi, M., Mossing, T., Östman, U., Brännström, H., Halmemies, E., Nurmi, J., Lidén, G. & Börjesson, P. 2020. Life-cycle assessment of the production of cationized tannins from Norway spruce bark as flocculants in wastewater treatment. *Biofpr, Biofuels, Bioproducts & Biorefining* 14: 1270–1285. <https://doi.org/10.1002/bbb.2139>
- Ding, T., Bianchi, S., Ganne-Chédeville, C., Kilpeläinen, P., Haapala, A. & Rätty, T. 2017. Life cycle assessment of tannin extraction from spruce bark. *iForest – Biogeosciences and Forestry* 10: 807–814. <https://doi.org/10.3832/for2342-010>
- Heräjärvi, H. 2019. Wooden buildings as carbon storages – Mitigation or oration? *Wood Material Science & Engineering*, 14(5): 291–297. <https://doi.org/10.1080/17480272.2019.1635205>
- Jyske, T., Brännström, H., Sarjala, T., Hellström, J., Halmemies, E., Raitanen, J.-E., Kaseva, J., Lagerquist, L., Eklund, P. & Nurmi, J. 2020a. Fate of Antioxidative Compounds within Bark during Storage: A Case of Norway Spruce Logs. *Molecules* 25(18). 22 p. <https://doi.org/10.3390/molecules25184228>
- Jyske, T., Järvenpää, E., Kunnas, S., Sarjala, T., Raitanen, J.-E., Mäki, M., Pastell, H., Korpinen, R., Kaseva, J. & Tupasela, T. 2020b. Sprouts and Needles of Norway Spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) as Nordic Specialty – Consumer Acceptance, Stability of Nutrients, and Bioactivities during Storage. *Molecules* 25(18): 4187. <https://doi.org/10.3390/molecules25184187>
- Korpinen, R., Kilpeläinen, P., Sarjala, T., Nurmi, M., Saloranta, P., Holmbom, T., Koivula, H., Mikkonen, K. S., Willför, S. & Saranpää, P. 2019. The Hydrophobicity of Lignocellulosic Fiber Network Can Be Enhanced with Suberin Fatty Acids. *Molecules* 24. 14 p. <https://doi.org/10.3390/molecules24234391>
- Kunnas, S., Liimatainen, J., Mäki, M., Pihlava, J.-M. & Hietaniemi, V. 2020. Laatu ja laadunhallintaa luonnontuotealalle. *Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus* 96/2020. 48 s. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-111-0>
- Pelli, P. & Lähtinen, K. 2020. Servitization and bioeconomy transitions: Insights of prefabricated wooden elements supply networks. *Journal of Cleaner Production*, 224 (January 20): 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118711>
- Rasi, S., Kilpeläinen, P., Rasa, K., Korpinen, R., Raitanen, J.-E., Vainio, M., Kitunen, V., Pulkkinen, H. & Jyske, T. 2019. Cascade processing of softwood bark with hot water extraction, pyrolysis and anaerobic digestion. *Bioresource Technology* 292. 7 p. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.121893>
- Tikkanen, J., Takala, T., Järvelä, M.-L., Kurttila, M. & Vanhanen, H. 2020. Challenges and Solutions for Non-Timber Forest Product Businesses in Finland – An Application of the SODA Analysis. *Forests* 2020, 11(7), 753. <https://doi.org/10.3390/f11070753>
- Verkasalo, E., Leppälä, J., Muhonen, T., Korpinen, R., Möttönen, V. & Kurppa, S. 2019. Novel industrial ecosystems and value chains to utilize side-streams of wood products industries – Finnish approach. *Pro Ligno Journal* 15(4): 157–165. <http://www.pro-ligno.ro/ro/articles/2019/4/VERKASALO.pdf>

6. Johtopäätökset – Metsäbiotalouden tulevaisuus

Mikko Kurttila, Leena Finér, Jari Hynynen, Katri Kärkkäinen, Timo Muhonen, Johanna Routa, Pekka Saranpää

6.1. Jatkotutkimussuuntia

Tätä lukua kirjoitettaessa maaliskuussa 2021 on valmistelussa Suomen uusi biotalousstrategia. Sen tavoitteet ja siinä määritettävät keinot tavoitteiden saavuttamiseksi tulevat osaltaan vaikuttamaan Suomen metsien käyttöön ja kehitykseen. Tavoitteet myös ohjaavat aihepiirin tutkimuksen painotuksia. Yhteinen tavoite tekemiselle on se, että Suomen uusiutuvien luonnonvarojen halutaan myös jatkossa olevan monipuolisen, aktiivisen ja kestävän käytön piirissä ja hyvinvoinnin lähteenä.

Genomiikan ja jalostuksen alueella tuotettiin tietoa siitä, miten jalostuksen avulla puiden kasvua ja kestävyyttä muuttuvissa olosuhteissa voidaan parantaa, monimuotoisuusnäkökulmat huomioiden. Jalostuksen hyödyt ovat huomattavia, ja sen avulla voidaan saavuttaa jopa 20 % lisäys puuntuotannossa. Tutkimusohjelman aikana on arvioitu jalostushyötyjä metsikkötasolla. Jatkossa on tarkoitus hahmotella skenaariotöissä valtakunnan tason arvioita jalostuksen avulla jo saavutetuista kasvuhyödyistä ja tulevasta potentiaalista. Metsänjalostusta nopeuttavia ja tarkentavien teknologioiden ja menetelmien kehittäminen edelleen (mm. genomisen valinta, kasvullinen lisäys ja uudet tarkat ja varhaiset mittausmenetelmät) mahdollistavat suuremmat jalostushyödyt. Hyötyjen nopeaan ja tehokkaaseen käytäntöön viemiseen tarvitaan lisää tietoa ja kehittämistä kasvullisen lisäyksen teknologioissa, lisäysmateriaalien optimaalisten käyttöalueiden määrittämisessä sekä jalostetun materiaalin metsänkasvatuskäytännöissä. Ilmastomuutos ja puun eri käyttömuodot haastavat tutkimaan tarkemmin mahdollisuuksia parantaa resilienssiä (mm. taudinkestävyyttä) ja puuaineksen laatua. Etenevä jalostus yhdessä monipuolistuvien metsänuudistusmenetelmien kanssa (jatkuvasta kasvatuksesta kloonimetsiin) haastaa puolestaan arvioimaan erilaisen metsänkäsittelemisen menetelmien geneettisiä vaikutuksia. Nousevia mahdollisuuksia ovat edelleen lyhytkiertolajit ja uudet potentiaaliset metsänkasvatukseen ja turve maiden metsittämiseen sopivat lajit, joiden avulla voidaan päästä suuriin tilavuuskasvuihin ja tehokkaaseen hiilen sidontaan.

Kestävän biomassan tuotannon laaja-alainen tutkimus keskittyi metsänhoitokysymyksiin, kuten metsien uudistamiseen, maanmuokkauksen hyötyihin ja haittoihin, sekametsien perustamiseen ja kasvatukseen, sekä pohjoisen Suomen metsien hoidon erityiskysymyksiin. Jatkuvapeitteisen metsänkasvatuksen menetelmiä ja vaikutuksia tutkittiin useissa hankkeissa. Aihepiirin tutkimusta ja tulosten käytäntöön vientiä tulee jatkaa. Metsien terveyden ja tuhoriskien tutkimuksessa painopiste oli juurikäävän torjuntamenetelmien kehittämisessä. Lisäksi kehitettiin ennustemalleja, laskentamenetelmiä ja -ohjelmistoja, joilla tuotettiin niin metsikkö-, alue-, ja valtakunnan tason puuntuotos-, hiilitase- ja kuormituslaskelmia. Jatkossa tutkimusta on suunnattava mm. siihen miten metsien puulajirakennetta voitaisiin monipuolistaa lehtipuiden osuutta lisäämällä ja puuston kasvua ja elinvoimaisuutta edistää maaperän ravinnetaloutta hoitamalla. Metsien käsittelytavat monipuolistuvat entisestään. Metsien dynamiikan ja metsänkäsitteilyvaikeutusten ennustemallien kattavuutta ja sovellettavuutta on laajennettava. Tutkimuksen tulee myös tuottaa laskelmia metsien erilaisista kasvatustrategioista kokonaiskestävyyden eri näkökulmista maisema- ja suuraluetasolla tehtävän päätöksenteon avuksi.

Metsävarat ja operaatiot fokusalueella kehitettiin työkaluja monipuolisen, luotettavan ja ajantasaisen tiedon keräämiseksi metsävaroista ja biomassojen laadusta, sijainnista ja

saavutettavuudesta. Keinoja biomassan korjuun ympäristövaikutusten vähentämiseksi mm. digitalisaation avulla kehitettiin ja uusia resurssitehokkaampia ratkaisuja biomassan toimitusketjuihin ja logistiikkaan tutkittiin ja kehitettiin yhteistyössä alan toimijoiden kanssa. Metsävaratiedon keruun menetelmiä ja järjestelmiä kehitetään jatkuvasti, uudet teknologiat ja innovaatiot tarjoavat uusia mahdollisuuksia metsävaratiedon keräämiseen, hallintaan, jalostamiseen ja jakeluun ja tätä kehitystyötä jatketaan Luken uusissa tutkimusohjelmissa. Puunkorjuun ympäristövaikutusten vähentäminen mm. digitalisaatiota apuna käyttäen on tärkeä tutkimusalue, jonka merkitys korostuu tulevaisuudessa esim. ilmastonmuutoksen takia, ja johon uusissa ohjelmissa pureudutaan entistä syvemmälle.

Metsän tuotteet ja biojalostus -fokusalueella etsittiin uusia tapoja hyödyntää biomassaa kokonaisvaltaisesti ja kaskadiperiaatteen mukaisesti. Myös luonnontuotteiden hyödyntämispotentiaalia ja liiketoiminnan edellytyksiä kartoitettiin monipuolisesti. Puumateriaalitutkimusten tavoitteena on parantaa puutuotteiden pitkäaikaiskestävyyttä, tehostaa raaka-aineen käyttöä ja luoda lisäarvoa arvoketjulle. Suomen biotalousstrategian jalkauttamiseksi tarvitaan tutkimusta ja innovaatioita, joiden avulla erilaisia puunjalostuksen, maatalouden ja elintarviketuotannon sivuvirtoja voidaan hyödyntää korvaamaan fossiilisia raaka-aineita ja uusien tuotteiden valmistamiseen. Uutto- ja fraktiointitekniikoita kehitetään kustannustehokkaiksi, jotta arvojakeet voidaan erottaa biomassasta ja jäännös hyödyntää esim. biokaasun ja biohiilen tuotannossa. Teollisuus on halukas löytämään uusiutuvia raaka-aineita moniin sovelluksiin, kuten puun liimaukseen ja paperin päällystykseen. Nykyiset prosessit eivät kuitenkaan aina sovellu uusille raaka-aineille, joten teknologioita on kehitettävä.

6.2. Metsäbiotalouden kehityssuuntia

Yksi Suomen metsäbiotaloutta määrittävä menestystekijä on tuotantoyksiköiden suuri mittakaava. Rinnalle tarvitaan myös pienemmän mittakaavan toimintaa, ja merkkejä tästä sekä metsien käytön monipuolistumisesta onkin nähtävissä esimerkiksi sivuvirtojen hyödyntämisessä, luontomatkailussa, luonnontuotealalla ja ekosysteemipalveluiden tuotteistamisessa. Kehityksen myötä alan arvoverkot laajenevat ja monipuolistuvat perinteisen metsäalan ulkopuolelle mm. digitalisaation ja uusien liiketoimintamallien kehityksen ja käyttöönoton seurauksena.

Metsäbiotalouden jatkokehitystä voidaan arvioida juuri mittakaava- ja sijoittumisnäkökulmista. Yhdessä ääripäässä on suuriin tuotantolaitoksiin keskittynyt tuotanto, niiden suuri raaka-aineiden käyttö ja laajat hankinta-alueet. Toisessa päässä puolestaan ovat pienet ja paikalliset erilaistuneet ja hajautuneet tuotantolaitokset. Edellisen tilanteen etuja ovat erityisesti pitkäjänteisyys ja tuotannon tehokkuutta lisäävät mittakaava- ja kilpailuedut. Pienemmän ja hajautuneemman tuotantolaitos- ja yritysrakenteen etuja ovat puolestaan joustavuus, monipuolisuus, resilienssi ja aluevaikutusten tasaisempi jakautuminen, joista useat luovat alueille edellytyksiä sopeutua muutoksiin ja elinvoimaisuuden säilyttämiseen. Suomalaisen metsäbiotalouden jatkokehitystä arvioitaessa johtopäätös on, että kumpaakin kehityssuuntaa tarvitaan, sillä parhaimmillaan ne täydentävät toisiaan.

Ohjelman tutkimus ja kehitystyössä on tuotettu tietoa ja ratkaisuja, jotka palvelevat erilaisia kehityssuuntia. Pohjoinen vihreä biotalous -ohjelman päättyessä aihepiiriin tutkimus ja kehitystyö ei luonnollisestikaan pääty. Mm. ilmastonmuutokseen vastaaminen sekä yhteiskunnallinen että teknologinen kehitys nostavat jatkuvasti esiin uusia tutkimustarpeita. Konkreettisia esimerkkejä metsäalan ja sitä tukevan tutkimuksen toimintaympäristön muutoksesta ovat globaalit, EU-tason sekä Suomessa esimerkiksi hallitusohjelmassa määritetyt tavoitteet, joissa korostetaan hiilinielujen ja varastojen vahvistamista, monimuotoisuuden turvaamista sekä ilmaston-

muutokseen vastaamista metsien resilienssin kasvattamisen kautta. Ohjelman päättyessä metsäbiotalouden tutkimus, joka palvelee laajasti erilaisia tutkimus- ja kehittämistarpeita, sijoittuu Luken uusiin haastelähtöisiin ja ylisektoraalisiin tutkimusohjelmiin (www.luke.fi/ohjelmat).



luke.fi

Luonnonvarakeskus
Latokartanonkaari 9
00790 Helsinki
puh. 029 532 6000